

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

# **ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ**

**Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник**

Основан в 1968 г.

**ВЫПУСК 57**



Харків 2002  
Харківський національний університет радіоелектроніки

УДК 519.7

В сборнике публикуются статьи по *БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА*.

Рассматриваются: базы данных, системы поддержки принятия решений, методы проектирования обучающих систем, системы искусственного интеллекта, в том числе автоматического распознавания речи, теория знаний и их представление, нейронные сети, инженерная психология, методы проектирования информационных объектов, экспертные системы.

Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.

У збірнику публікуються статті з *БІОНИКИ ІНТЕЛЕКТУ*.

Розглядаються: бази даних, системи підтримки прийняття рішень, методи проектування навчаючих систем, системи штучного інтелекту, у тому числі автоматичного розпізнавання мови, теорія та подання знань, нейронні мережі, інженерна психологія, методи проектування інформаційних об'єктів, експертні системи.

Для викладачів вищих закладів освіти, науковців і фахівців.

The journal publishes articles on the *BIONICS OF INTELLIGENCE*.

The topics considered are: data base, systems of decision-making support, methods of instruction systems design, artificial intelligence systems, including automatic language recognition, theory and overview of knowledge, neural networks, human engineering, methods of data entity design, expert systems.

The issue intended for university teachers, research workers and specialists.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. *М.Ф. Бондаренко* (гл. ред.), д-р техн. наук, проф. *Ю.П. Шабанов-Кушнарченко* (отв. ред.), канд. техн. наук *В.А. Чикина* (зам. отв. ред.), д-р техн. наук, проф. *Н.Н. Буслик*, д-р техн. наук, проф. *Т.К. Винцюк*, канд. техн. наук, проф. *З.В. Дударь*, д-р техн. наук, проф. *А.В. Королев*, д-р техн. наук, проф. *А.А. Павлов*, д-р техн. наук, проф. *Е.П. Путятин*, д-р техн. наук, проф. *А.А. Рось*, д-р техн. наук, проф. *И.Б. Сироджа*, д-р техн. наук, проф. *А.Д. Тевяшев*, д-р техн. наук, проф. *И.Г. Филиппенко*, д-р техн. наук, проф. *О.Н. Фоменко*, д-р техн. наук *С.Ю. Шабанов-Кушнарченко*, д-р физ.-мат. наук, проф. *М.М. Шлезингер*, д-р физ.-мат. наук, проф. *С.В. Яковлев*

Ответственный за выпуск канд. техн. наук *В.А. Чикина*

*Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по техническим наукам*

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники.  
Протокол № 44 от 4.10.2002

*Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по техническим наукам.*

Адрес редакционной коллегии: Украина, 61166, Харьков-166, просп. Ленина, 14,  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЕ),  
тел. (0572) 702-14-46

УДК 519.7

Н. Н. БУСЛИК, С. П. ТИМОФЕЕВ

## ДИАЛОГОВЫЕ ДВУХУРОВНЕВЫЕ ФОРМАЛЬНЫЕ ГРАММАТИКИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ СОЗДАНИИ ЛЕКСИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ

В работах [3, 6] описаны принципы автоматизированного преобразования текста традиционного словаря в лексическую базу данных – основу компьютерного словаря. Основная сложность заключается в распознавании структуры словарной статьи, что приводит к итерационному процессу уточнения некоторой первоначальной ее версии. Показана необходимость использования неоднозначной формальной грамматики, различения конкретной и абстрактной структур, а также проведения диалога при обнаружении статей особой, «формально неоднозначной» структуры.

В данной работе предложены формально-языковые средства для обеспечения вышеописанного процесса, а именно, некоторый класс комбинированных формальных грамматик (**Д-грамматик** и соответствующий **метаязык БНФ/Д**), с помощью которых описываются все необходимые нам аспекты структуры словарной статьи произвольного печатного словаря. Под управлением такой грамматики программа **транслятора словаря** осуществляет интерактивное распознавание структур всех его статей и их преобразование во внутреннее представление, которое позднее трансформируется в БД.

Учитывая направленность статьи, наше изложение носит нестрогий, концептуальный характер и основано на анализе упрощенных примеров словарных статей из [2].

### 1. О термине «структура словарной статьи»

Прежде всего, уточним смысл, вкладываемый нами в этот важный термин. В лексикографии он имеет два основных значения:

- общая структура всех словарных статей некоторого словаря;
- частная структура некоторого экземпляра словарной статьи.

Первому значению соответствует в информатике термин «тип данных», а второму – «структура данных». Поэтому, в случае неясности, мы будем говорить о «структуре типа словарной статьи» либо о «структуре экземпляра словарной статьи». Аналогичные замечания относятся к терминам, обозначающим отдельные зоны словарной статьи.

В первом приближении, структура типа словарной статьи описывается контекстно-свободной грамматикой, а структура экземпляра отождествляется с синтаксической структурой (деревом составляющих) словарной статьи в этой грамматике. Уточнения связаны с учетом специфики нашей задачи. В результате будет получено требуемое описание в виде **Д-грамматики**.

### 2. Примеры словарных статей

Ниже приведены три словарные статьи из словаря [2], на основе анализа которых мы сконструируем упрощенную **Д-грамматику** заголовка словарной статьи указанного словаря.

1) **asn, asg** см. **assign**.

2) **last-in, first-out** в магазинном порядке [Об алгоритмах обслуживания запросов или рассмотрения альтернатив в порядке, обратном порядку их поступления (последний поступивший обрабатывается первым)].

3) **language язык** [Естественная или искусственная знаковая система для общения и передачи информации].

Заголовок первой статьи состоит из двух терминов, разделенных запятой (и пробелом). Заголовок второй статьи представляет собой единственный термин, в состав которого входит запятая. Заголовок третьей статьи имеет обычный вид. Отметим, что нам *неизвестен способ формального различения случаев употребления запятой в заголовке*.

Будем считать, что приведенными вариантами исчерпывается перечень допустимых структур заголовков, со следующими уточнениями: в сложном заголовке термины не могут содержать запятую; в состав термина не может входить точка с запятой.

### 3. Формальная неоднозначность и диалоговые грамматики

Попытаемся описать структуру заголовка с помощью **грамматики G1** (несущественные детали опущены):

$$(1.1) \quad \langle \text{заголовок} \rangle ::= \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{термин} \rangle \\ \langle \text{термин} \rangle, \langle \text{термин} \rangle \end{array} \right\}$$

$$(1.2) \quad \langle \text{термин} \rangle ::= \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{слог} \rangle \\ \langle \text{слог} \rangle, \langle \text{слог} \rangle \end{array} \right\}$$

$$(1.3) \quad \langle \text{слог} \rangle ::= \langle \text{строка без запятой} \rangle$$

Грамматика получилась **неоднозначной** [1]. Это отражение того факта, что нам не удалось формально определить случаи употребления запятой в заголовке. Грамматика **G<sub>1</sub>** наделяет заголовки первой и второй статей двумя синтаксическими структурами каждую – из одного и из двух терминов. Процесс распознавания, использующий неоднозначную грамматику, обязательно включает **диалог** с человеком, который на основе анализа смысла устанавливает, какая именно структура соответствует подобной **формально неоднозначной** словарной статье.

В данном случае, компьютер вначале определяет, есть ли в заголовке запятая, и если да, то просит оператора указать вариант структуры из предлагаемого перечня. Формализация описанных действий может быть осуществлена в форме следующей **диалоговой формальной грамматики G<sub>2</sub>**:

$$(2.1 \text{ а}) \quad \langle \text{заголовок} \rangle ::= \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{заголовок без запятой} \rangle : \langle \text{строка без запятой} \rangle \\ \langle \text{заголовок с запятой} \rangle : \langle \text{строка с запятой} \rangle \end{array} \right\} \text{ шрифт(Ж)}$$

$$(2.1 \text{ б}) \quad \langle \text{загсловок без запятой} \rangle ::= \langle \text{термин} \rangle$$

$$(2.1 \text{ в}) \quad \langle \text{заголовок с запятой} \rangle ::= \text{диалог} \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{термин} \rangle \\ \langle \text{термин} \rangle, \langle \text{термин} \rangle \end{array} \right\}$$

(Правила 2.2 и 2.3 совпадают с 1.2 и 1.3 соответственно).

Транслятор словарной статьи, интерпретируя эту грамматику, распознает структуру словарной статьи в **два прохода**. На первом, согласно **правилу обнаружения неоднозначности** (2.1 а), выясняет, есть ли запятая в заголовке. На втором – определяет точную структуру заголовка, причем при наличии запятой использует **диалоговое правило** (2.1 в), под управлением которого выдает на экран **меню** следующего примерного формата:

**Формально-неоднозначная составляющая**

<заголовок с запятой>:

asn, asg

**Укажите вариант структуры:**

- <термин>
- <термин>, <термин>

После того, как оператор ответит компьютеру, распознавание продолжится автоматически по **недиалоговым** правилам.

Заметим, что если бы разделителем терминов была точка с запятой, то грамматика стала бы **однозначной**. Подобные **семантически эквивалентные преобразования** позволяют избежать повторных диалогов в итерационном процессе распознавания структуры печатного словаря [6]. В нашей грамматике функцию преобразования мы зададим путем замены запятой в правиле (2.1в) на фразу **разделитель(,) заменить(,)**.

#### 4. Абстрактная структура словарной статьи и двухуровневые грамматики

Пусть в одном словаре термины в сложном заголовке разделяются запятой, а в другом – точкой с запятой. Если мы захотим объединить эти словари в одной БД, нам потребуется отделить **абстрактную**, содержательную структуру статьи от формы ее представления в виде **конкретной** структуры. Например, абстрактная структура заголовка первой статьи – это просто пара терминов, запятая и вид шрифта не являются элементами этой структуры.

В общем случае, абстрактная структура **экземпляра** словарной статьи является частичноупорядоченным деревом абстрактных составляющих и может быть получена следующей **трансформацией** ее конкретной структуры: удаляются все разделители, скобки, атрибуты шрифта; конкретные обозначения помет заменяются на абстрактные обозначения, при этом могут потребоваться специальные **процедуры преобразования значений**, на которых мы не будем останавливаться.

Соответственно, описание абстрактной структуры **типа** словарной статьи предлагается получить из описания типа ее конкретной структуры (т.е. рассмотренной выше формальной грамматики **G2**) в основном **удалением** элементов, задающих конкретное представление. Хотя в результате мы получим неоднозначную грамматику, для наших целей она подходит, надо только интерпретировать ее **особым образом**: как исчисление только синтаксических структур, но не цепочек [4:110]. Эта грамматика будет использоваться лишь для порождения и доступа к абстрактным структурам словарных статей, имеющим нелинейное внутреннее представление в компьютере.

Ниже приведена **абстрактная грамматика G3** для заголовка словарной статьи:

$$(3.1) \quad \langle \text{заголовок} \rangle ::= \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{термин} \rangle \\ \langle \text{термин} \rangle \langle \text{термин} \rangle \end{array} \right\}$$

(Правила 3.2 и 3.3 совпадают с 1.2 и 1.3 соответственно).

Полученное описание структуры заголовка словарной статьи в виде пары грамматик (**G2, G3**) обладает существенным недостатком – в нем не определено **соответствие** между абстрактной и конкретной структурами. Для этой цели ниже предлагается **интегрированное** описание структуры в виде **двухуровневой диалоговой грамматики G4**, которая содержит **особые фразы** представления, диалога и преобразования. Путем формальных преобразований из нее можно получить любую из описанных выше грамматик. Заметим, что в общем случае структура особых фраз намного сложнее.

$$(4.1 \text{ а}) \quad \langle \text{заголовок} \rangle ::= \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{заголовок} \rangle : \langle \text{строка} \\ \text{без запятой} \rangle : \langle \text{строка} \\ \text{без запятой} \rangle \\ \langle \text{заголовок} \rangle : \langle \text{строка} \\ \text{с запятой} \rangle : \langle \text{строка} \\ \text{с запятой} \rangle \end{array} \right\} \text{ шрифт(Ж)}$$

$$(4.1 \text{ б}) \quad \langle \text{заголовок} \\ \text{без запятой} \rangle ::= \langle \text{термин} \rangle$$

$$(4.1 \text{ в}) \quad \langle \text{заголовок} \\ \text{с запятой} \rangle ::= \text{диалог} \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{термин} \rangle \\ \langle \text{термин} \rangle \langle \text{разделитель} \rangle \langle \text{термин} \rangle \\ \langle \text{термин} \rangle \langle \text{терминов} \rangle \langle \text{термин} \rangle \end{array} \right\}$$

$$(4.1 \text{ г}) \quad \langle \text{разделитель} \\ \text{терминов} \rangle ::= \text{разделитель} ( , ) \text{ заменить} ( ; )$$

(Правила 4.2 и 4.3 совпадают с 1.2 и 1.3 соответственно).

#### 5. Заключение

Предложенный аппарат *D*-грамматик позволяет получить интегрированное формальное описание структуры словарной статьи произвольного печатного словаря в аспектах, требуемых для про-

цесса его преобразования в словарную БД. Это конкретная структура (исходная и семантически эквивалентно преобразованная); абстрактная структура и ее соответствие конкретной структуре; правила обнаружения формальной неоднозначности и диалоговые правила ее снятия. *Д-грамматики могут использоваться также в других задачах, где требуется автоматизированная обработка на вполне формализованных текстах.*

**Список литературы:** 1. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. М.: Мир, 1978. Т.1. 612 с. 2. Борковский А.Б. Англо-русский словарь по программированию и информатике. М.: Русский язык, 1987. 333 с. 3. Буслик Н.Н., Тимофеев С.П. Обобщенная схема процесса формирования лексической БД на основе текста традиционного словаря // Сб. научн. трудов ХНУРЭ. Харьков, 2002. С.33-34. 4. Гладкий Н.В., Мельчук И.А. Элементы математической лингвистики. М.: Наука, 1969. 192 с. 5. Герд А.С. Основы научно-технической лексикографии. Ленинград: ЛГУ, 1986. 73 с. 6. Тимофеев С.П. Интерактивный метод выявления структуры статей бумажного словаря // Вестник МСУ. Сер. Филология. Харьков, 2000. Т.3. №4. С. 21-22.

*Поступила в редколлегию 23.05.200.*

УДК 519.711.3 + 004.023 + 004.934

А. В. РАБОТЯГОВ

## К ВОПРОСУ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ПАРАМЕТРАМ РЕЧИ НА ОГРАНИЧЕННОМ ОБЪЕМЕ РЕЧЕВОГО МАТЕРИАЛА

Важность идентификации человека по параметрам речи возрастает по мере роста потребностей систем аутентификации в самых разных областях жизнедеятельности человека, в частности, в области криминалистики с ее специфическими задачами (например, борьба с "телефонным терроризмом"). В статье рассматриваются некоторые положения метода идентификации, в своей основе опирающегося на принципиально новые теоретические идеи. В качестве идентифицирующих признаков предлагается использовать *геометрические* признаки, которые формируются на микроучастках осциллограмм речевого сигнала, на т.н. *элементарных сегментах* гласных звуков речи длительностью порядка 0,005–0,009 секунд.

Современный подход в области речевых технологий к решению основных задач – *кто говорит* (идентификация), *что говорит* (например, распознавание команд) и *как говорит* (установление эмоционального состояния) – в подавляющем большинстве исследований сводится к измерению и анализу спектральных характеристик, полученных в результате разложения "речевой" функции в ряд Фурье. В первую очередь к этим характеристикам относятся: мгновенный и текущие спектры, частоты основного тона, первой, второй и третьей формант, динамика частоты основного тона, которые определяются на участках языковых единиц: звуке, слоге, слове, фразе. Используемые для целей обработки речи экспериментальные методы и математический аппарат (дискретное преобразование Фурье, теории вероятностей, статистики и др.) достаточно глубоко продуманы и детально изложены в научно-технической литературе [1]. В частности, в криминалистических подразделениях различных правоохранительных органов применяемые на практике компьютерные системы при проведении судебно-акустических экспертиз для идентификации человека по голосу с целью сравнения спорной и экспериментальной фонограмм в качестве основных детерминирующих признаков используют спектральные.

И это не лишено основания. На наш взгляд, здесь более уместна характеристика существующего подхода как *классический*, который наиболее полно отражает направление исследований в данной области знаний не только во временном, но и в теоретическом аспектах. За прошедшее время, начиная от Г. Гельмгольца, Л. В. Щербы (XIX – начало XX вв.) и заканчивая работами Г. Фанта, Дж. Фланагана, Л. Р. Зиндера, Л. А. Чистович, Л. В. Бондарко (60-е – 80-е гг. XX в.) и др., основные теоретические положения остаются неизменными. Главное положение акустической теории речеобразования формулируется следующим образом. "Речевой сигнал возникает в результате воздействия одного или нескольких источников звука на систему резонаторов, образуемых воздушными полостями речевого тракта. Если обозначить через  $S(f)$  амплитудно-частотный спектр колебаний, создаваемых источником звука, через  $T(f)$  – передаточную функцию резонаторной системы речевого тракта, то амплитудно-частотный спектр результирующих звуковых колебаний  $P(f)$  может быть представлен равенством:

$$P(f) = S(f) \cdot T(f),$$

включая параметр времени  $t$ :  $P(f, t) = S(f, t) \cdot T(f, t)$ .

... В результате получается сложный периодический сигнал со спектром гармонической структуры, задаваемой голосовым источником" [2, с. 102-103].

Переход в спектральное отображение речевых сигналов при выполнении определенных требований, предъявляемых к объему материала, его сопоставимости, уровню шумов, сопоставимости каналов записи, делает экспериментально-фонетическое исследование только в некоторой мере эффективным. Но как быть, если такие требования не соблюдены (что имеет место на практике)? Заметим, что, во-первых, объем речевого материала, представляемого на фоноскопическую экспертизу, имеет "ограничение по длительности": минимальная длительность "чистой речи" в обычном случае должна составлять не менее 10 мин. Во-вторых, сигнал теряет информацию вследствие ограниченной частотной пропускной способности совокупного канала записи, предел которой в области верхних частот составляет 3-6 кГц. Это, естественно, отражается на его спектре. Эти и другие существенные ограни-

чения приводят к необходимости создания метода, опирающегося на новые теоретические положения и "нетрадиционные взгляды" в вопросах речеобразования и речевосприятия. Разработка такого метода обусловлена также рядом других немаловажных факторов.

Во-первых, спектральное отображение является всего лишь одним из возможных вариантов описаний речевых сигналов. Как отмечают специалисты в области науковедения "правила и методы эмпирической интерпретации теории могут развиваться бесконечно", т.к. "любая теория не имеет предела в своем развитии" [3, с.204]. Во-вторых, с позиции гносеологии формы описания объекта познания бесконечны, поскольку "сам объективный мир изменяется и развивается" [4, с.169]. Исходя из этого, правомерно сделать вывод, что существующая теория уже не может претендовать на исчерпывающее, а тем более абсолютное описание. В-третьих, чрезмерно широкое применение математики, статистики (например, статистического анализа временных рядов) так или иначе, служит утонченным способом маскировки недостатка знаний о предмете исследования [5]. Хотя действительно никто не отрицает тот факт, что реальный речевой сигнал на выходе резонаторной системы речевого тракта представляет собой сложный периодический сигнал. В связи с этим следует признать логически оправданным применение для дальнейшего исследования хорошо проверенного математического аппарата. В качестве такового применяется преобразование Фурье (1768-1830) для анализа временных рядов (а речевой сигнал как раз и представляется таковым). С его помощью находят значения частот и амплитуд гармонических составляющих сигнала. И решение, как кажется на первый взгляд, найдено. Однако, как отмечает известный специалист в области распознавания речи Дж. Р. Доддингтон, на этом пути возникают "определенные трудности в использовании столь привлекательных спектрографических различий (имеется в виду распознавание дикторов). ... Действительная трудность заключается в разном звучании и спектрографическом представлении одного и того же голоса в разное время" [6]. В-четвертых, анализируя состояние и перспективы речевых исследований, В. И. Галунов и В. Л. Таубкин подчеркивают [7], что в настоящее время происходит пересмотр существовавшей до сих пор в области речевых технологий парадигмы. Одна из причин, которая препятствует внедрению речевых технологий в практику, является неудовлетворительность научной базы, лежащей в основе современного развития этой области.

Разрабатываемый в настоящее время в Институте изучения проблем преступности Академии правовых наук Украины метод идентификации человека по голосу имеет своей целью осуществить фоноскопические исследования на предельно ограниченном объеме речевого материала. Его минимальный объем может составлять 1-2 сек. Применяемый нами метод основывается на анализе *структурных* характеристик так называемых *элементарных сегментов* гласных звуков речи [8; 9]. При этом основной упор в исследовании направлен, прежде всего, на понимание сложных процессов речеобразования и слухового анализа, выявление закономерностей акустических свойств речевых сигналов на предельно коротких участках.

Поясним, что представляет собой элементарный сегмент. Как известно, результатом "голособразующего действия голосовых связок" (Л. В. Щерба) является колебание частиц упругой (воздушной) среды в виде волнообразной кривой. Эти звуковые колебания, действуя на слуховой анализатор, формируют у слушающего соответствующие звуковые ощущения (представления). Элементы звуковых представлений, например *о* и *а* в слове *вокзал*, называются звуками [10]. Указывая на акустическую неоднородность гласных звуков, Л. В. Щерба установил тот факт, что то "... что мы называем фонемой *а*, в слове *ад* например, в произношении вовсе не соответствует нечто однородное – наоборот, гласный элемент по качеству представляет некоторую кривую, которая начинается {А} ... проходит через всевозможные оттенки *а* и кончается открытым *е*, что можно наглядно представить следующим рядом ... где элемент, соответствующий нашей фонеме *а*, отмечен курсивом [10, с.12-13].

$$\{A\} - \{a-\} - a - \{a\} - \{a \perp\} - \{e\} \quad (I)$$

Такой "состав" гласного звука позволяет нам явным образом (без каких-либо предварительных преобразований) выделить в речевом сигнале некие участки, соответствующие указанным выше элементам ряда (I). На рисунке отмеченный маркерами 1-2 участок сигнала (гласного) соответствует элементу *а* ряда (I). В свою очередь, каждый такой участок можно разбить в зависимости от длительности самого гласного на еще более мелкие, элементарные составляющие, после чего дальнейшее членение (разбиение) участка достигает своего предела. С целью индивидуализации такой предельный элементарный участок мы называем *элементарным сегментом* (ЭС) гласного звука. ЭС пред-

ставляет собой один период колебания звуковой волны сложной формы. Каждый ЭС является откликом речеобразующего аппарата на импульс возбуждения голосовых связок. На участке реализации гласного звука обычно содержится от 5-ти до 30-ти ЭС. На рисунке ЭС расположены между маркерами А-Б и С-Д. Здесь элементу *a* ряда (I) соответствует группа ЭС, состоящая из трех смежных ЭС. В общем случае каждому элементу ряда (I) соответствует своя группа ЭС, состав которой может колебаться от одного и более ЭС.

На рисунке представлены фрагменты осциллограмм речевых сигналов двух разных дикторов, записанных по каналу связи "диктор – городской телефон-автомат – телефонная линия – компьютер". Каждым диктором была произнесена фраза "Вокзал заминирован". Верхняя осциллограмма – диктор № 33, нижняя – диктор № 34. Оба фрагмента соответствуют фокальной области звука *a* в фонетическом окружении *зл* в слове *вокзал*. Маркеры (пунктирные линии) 1, 2 обозначают границы участка сигнала, содержащего 3 элементарных сегмента. Маркеры А, Б и С, Д обозначают границы элементарных сегментов. Каждый маркер представляет собой группу кодов, описывающий важные для идентификации свойства данного участка речевого сигнала. На рисунке видны различия в структурах сегментов звука, принадлежащих разным дикторам.

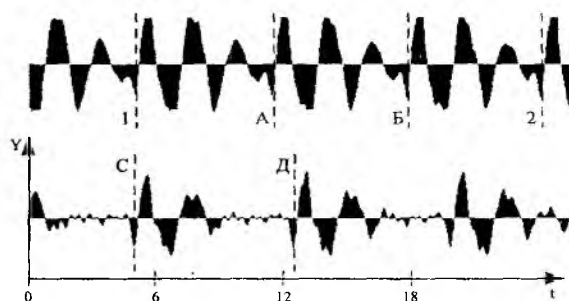


Рисунок.  
Сегментная структура гласных звуков.

По оси абсцисс (0-t) расположена шкала времени (t) в мсек; по оси ординат (0-Y) – шкала амплитуд (Y) речевого сигнала. Длительность элементарного сегмента между маркерами А и Б составляет примерно 6 мсек, между С и Д – 6,9 мсек.

Обращает на себя внимание тот факт, что Л. В. Щерба в своих исследованиях выделял в речевом сигнале аналогичные участки, употребляя для их обозначения такие понятия как *однородные отрезки и периоды*. Участки "кривой", например, гласного звука *a* в слове *ад* [10, с.88-89], фиксируемые при помощи специальных устройств и отображаемые в виде графика, — мы и рассматриваем как элементарные сегменты. Однако такой графический способ исследования в дальнейшем не получил должного развития. Хотя еще в 1912 г. Л. В. Щерба сделал предположение, "что способ этот, поскольку он технически применим, может играть серьезную роль в практической (лингвистической) фонетике, тем более что даже по существу он прямее ведет к цели, чем гармонический анализ" [10, с.32].

Изложим основные положения, на которых строится предложенный нами метод идентификации. Во-первых, это положения общей фонетики. Ученые в этой области подчеркивают то обстоятельство, что для каждого человека один и тот же звук речи различен, поскольку на инвариантные свойства каждого звука "накладываются индивидуальные произносительные особенности говорящего" [11, с.48]. Эти особенности непосредственно отражаются на физической структуре гласного и, следовательно, на структуре самого ЭС. На рисунке представлены фрагменты осциллограмм гласного звука *a* в слове *вокзал*, произнесенные разными дикторами. Здесь четко видны различия в структурной организации ЭС звуков двух дикторов.

Также нами делается предположение, что треугольник гласных Хеллвага-Щербы [11], трапециод Д. Джоунза[2] для каждого человека индивидуальны (имеется в виду их геометрические производные).

Во-вторых, распознавание речевых образов, в частности, идентификация человека по голосу, является по сути одним из основных частных разделов общей теории распознавания образов. Поэтому в своей основе она опирается на теоретические положения последней. В-третьих, к научным основам метода относятся также положения теории множеств, аксиоматики, синергетики, адаптации и оптимизации.

Важно учитывать, что названные теории взаимосвязаны и дополняют друг друга. Покажем это на примере выбора исходных признаков. Общеизвестно, например, что процесс распознавания образов начинается с замены исходного объекта исследования характерными признаками. В нашем случае исходный объект – ЭС описывается набором количественных признаков. Значение каждого признака выражается целым положительным числом, получаемым в результате применения простейших алгебраических операций. Каков же характер выбранных нами признаков? Ф. Энгельс определил мате-

матику как науку о количественных отношениях и пространственных формах реального мира, подчеркнув тем самым единство двух ее основных начал – аналитического и геометрического. Со времен Декарта (1596-1650), положившего начало новому направлению в математике – аналитической геометрии, основное влияние было уделено изучению линий и поверхностей, образующих какой-либо объект, который может быть описан как системой уравнений, так и некоторой системой операций, выполняемых в определенном порядке (т.е. алгоритмом). Рассматривая ЭС как некий *геометрический* объект со сложной пространственно-временной организацией, где пространство выражает порядок расположения одновременно сосуществующих объектов, время – последовательность существования сменяющих друг друга объектов, явлений, мы представляем его *структуру* в виде сложной "конструкции". Такая конструкция состоит из некоторой совокупности более простых в конструктивном отношении элементов. В качестве таких элементов приняты фигуры аналитической геометрии: прямая, окружность, парабола, плоскость. Естественно, что такое представление – своего рода "геометрия речи" – апеллирует к нашей интуиции. Описание структуры ЭС сводится к измерению свойств указанных геометрических фигур – длины, радиуса, угла, площади, расстояния между точками. Такие свойства и служат первичными признаками.

Примером одного из таких признаков может служить длительность ЭС. Из курса геометрии известно, что расстояние есть величина, имеющая размерность длины. Однако, если выбран масштаб, то расстояние определяется безразмерной величиной, т.е. числом. Например, длительность ЭС между маркерами А-В (см. рисунок), составляет 6 мсек. В принятой нами метрике – 1 мсек = 22 единицам – длительность ЭС будет выражена числом, равным 132. Это число мы имеем право назвать *расстоянием*, т.к. аксиомы метрического [12] пространства (позитивности, симметрии и треугольника) выполняются. В свою очередь само пространство, занимаемое ЭС, есть метрическое, поскольку имеется множество характерных точек "конструкции" ЭС и расстояний, вычисляемых между ними, например по формуле  $\rho(x, y) = |x - y|$ , и соответствующих уже упомянутым аксиомам.

Как видим, ход наших рассуждений обосновывает комплексное применение указанных теорий в исследовании.

Все изложенное выше находит свое отражение в основных этапах построения метода идентификации. В данном методе в зависимости от функционального назначения мы выделяем три этапа.

### **I этап. Формирование банка экспериментального речевого материала**

На этом этапе были записаны с 4-х различных внутригородских телефонных автоматов в разное время с интервалом от 1-го до 7-ми дней в 4-х сеансах 1200 речевых сообщений 11-ти дикторов. Каждый диктор на каждом из 4-х сеансов записи 4 раза произносил две фразы: "Вокзал заминирован", "В школе заложена бомба". Причем один раз такие фразы произносились в преднамеренно искаженной манере, которую диктор выбирал произвольно. Каждому диктору присваивался индивидуальный код, поэтому формируемый банк есть банк речевых эталонов. Речевой сигнал каждого диктора по каналу связи "диктор – городской телефон-автомат – телефонная линия – компьютер" записывался в цифровом формате в память компьютера в виде отдельного файла. В каждом файле органолептически экспертами были выделены специальными маркерами границы ЭС. В общей сложности на 1200 файлах число ЭС составляет 40000. Наличие банка экспериментально-речевого материала является необходимым условием для поиска эффективных признаков и правил обработки речевых сигналов для решения поставленных задач экспертной практики.

### **II этап. Математическая модель компьютерной системы**

Этапы разработки компьютерной системы соответствуют основным этапам процесса опознания образов, а именно:

- составление элементов алфавита, т.е. совокупность образов (классов);
- нахождение системы признаков, характеризующей образы;
- построение решающего правила в виде разделяющей функции или алгоритма, по которому принимается решение о принадлежности тех или иных объектов к тому или иному классу объектов.

Каждый этап представлен своей математической моделью. Такая модель в количественной форме описывает составные элементы этапа, их внутренние связи. На основании указанных процедур составляются алгоритмы работы системы, выполнение которых и есть непосредственно сам процесс опознания образов.

По определению, *образ* есть "отображение общих и относительно устойчивых признаков, определенный набор значений которых характеризует данный класс объектов" [13, с.14]. Под *классом* мы подразумеваем совокупность объектов, имеющих одинаковый код диктора. Система формирует множество элементов алфавита (образов) из элементов (объектов) банка эталонов. Каждый объект содержит  $l$  гласных звуков речи. Каждый гласный звук представлен последовательностью элементарных сегментов. Каждый ЭС описывается системой геометрических признаков. Компьютерная система автоматически выделяет структурные элементы ЭС, измеряет значения признаков и после некоторых математических операций над ними (ранжирование, нормирование, преобразование пространств) формирует образ. Такой образ представлен вектором в  $n$ -мерном пространстве признаков:

$$\vec{v} = (v_1, v_2, \dots, v_n), \quad (1)$$

координаты которого – целые положительные числа.

Отметим, что "состоятельность" того или иного признака, алгоритма проверяется на представительном речевом материале в процессе оптимизации, при котором автоматически выбирается наилучшее решение по заданному критерию качества работы системы. Например, таким критерием может быть число верно опознанных объектов (классов).

### III этап. Идентификация

Идентификация осуществляется по схеме "один со всеми": неизвестный объект сравнивается с каждым объектом банка эталонов. Для оценки степени сходства двух объектов между ними в принятой метрике вычисляется расстояние  $r$  по формуле:

$$r = r(v, w^j) = \sum_{i=1}^n |v_i - w_i^j|,$$

где  $v$  – неизвестный (идентифицируемый) объект, характеризуемый вектором (1);  $w^j$  –  $j$ -тый известный (идентифицирующий) объект банка эталонов, характеризуемый вектором  $\vec{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , аналогично (1).

На основании решающего правила (табл.), для которого исходными данными являются полученные эмпирически меры близости  $\varepsilon_0, \varepsilon_1$  [14] и вычисленное расстояние  $r$ , компьютерная система принимает решение о наличии / отсутствии тождества (принадлежности к классу).

Таблица

Решающее правило $f(r, \varepsilon_0, \varepsilon_1)$		Принятое решение	
Условие принадлежности объекта к классу		$[v] \neq [w^j]$	$[v] = [w^j]$
$v \in K^{w^j}$ ,	если $\varepsilon_0 \geq r(v, w^j)$	$\bar{I}$	$G2$
$v \in ? K^{w^j}$ ,	если $\varepsilon_0 < r(v, w^j) \leq \varepsilon_1$	$\bar{W}1$	$\bar{W}2$
$v \notin K^{w^j}$ ,	если $r(v, w^j) > \varepsilon_1$	$G1$	$\bar{I}$

где  $[v], [w^j]$  – коды дикторов объектов  $v$  и  $w^j$ ,

$\varepsilon_0, \varepsilon_1$  – меры близости ( $\varepsilon_0 < \varepsilon_1$ ),  $K^{w^j}$  – класс  $w^j$  объектов, имеющих одинаковый код,

$\bar{I}$  – истинное тождество,  $\bar{I}$  – истинное нетождество,

$G1$  – ошибка I-го рода ("сам себя не узнал"),

$G2$  – ошибка II-го рода ("чужой принят за своего"),

$\bar{W}1, \bar{W}2$  – невозможно принять решение I-го и II-го рода.

Надежность идентификации, полученная в результате анализа только одного гласного звука (звук *о* в фонетическом окружении *вк* в фразе "Вокзал заминирован") в контрольной выборке, представленной 131 образцом искаженной речи 11-ти произвольно отобранных дикторов, составила 100 %.

Следует подчеркнуть, что используемые количественные критерии оценки при проведении идентификационного фоноскопического исследования существенно снижают субъективный фактор эксперта.

**Список литературы:** 1. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1971. Вып. 1. 316 с. 2. Кодзасов С. В., Кривнова О. Ф. Общая фонетика: Учебник. М.: Рос. гос. гуманитар. ун-т, 2001. 592 с. 3. Попович М. В. Выявление пределов теории в ходе ее развития // Логика научного исследования / Под ред. П. В. Копнина и М. В. Поповича. М.: Наука, 1965. 360 с. 4. Рузавин Г. И. Методы научного исследования. – М.: Мысль, 1974. 237 с. 5. Распознавание образов. Исследование живых и автоматических распознающих систем / Перевод с англ. Л. И. Титомира. М.: Мир, 1970. 288 с. 6. Доддингтон Дж. Р. Распознавание дикторов: Идентификация людей по голосу // ТИИЭР. 1985. Т. 73, № 11. С. 129-137. 7. Современные речевые технологии. Сборник трудов IX сессии Российского акустического общества. М.: ГЕОС, 1999. 166 с. 8. Дрюченко А. Я. Метод идентификационной фоноскопической экспертизы, основанный на анализе длительностей элементарных сегментов гласных звуков / Современные проблемы судебной фоноскопической экспертизы (материалы спец. семинара). Харьков: КримАрт, 1999. С. 3-20. 9. Бондаренко М. Ф., Дрюченко А. Я., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Способ распознавания речевого сигнала // А.с. СССР № 991492. Оpubл. 23.01.1983, Б.И. № 3. 10. Щерба Л. В. Русские гласные в количественном и качественном отношении. АН СССР. Ленинград: Наука, 1983. 187 с. 11. Зиндер Л. Р. Общая фонетика: Учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1979. 312 с. 12. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы функций и функционального анализа. М.: Наука, 1976. 543 с. 13. Тяхтин В. С. Теория автоматического опознавания и гносеология. М.: Наука, 1976. 190 с. 14. Турбович И. Т., Гитис В. Г., Маслов В. К. Опознавание образов. Детерминированно-статистический подход. М.: Наука, 1971. 248 с.

Поступила в редколлегию 10.09.2002.

УДК 002+02/.002.5:002:681.3

Г. Ф. ДЮБКО, С. Л. ХАРЧЕНКО

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНЫХ И АППАРАТНЫХ СИСТЕМ

Исходя из опыта создания и отладки больших программных и программно-аппаратных систем, можно сказать, что существующая практика создания таких объектов основывается на двух взаимосвязанных элементах – создании и тестировании системы, согласно требованиям, определенным в техническом задании (ТЗ). Этапы проведения работ при традиционном подходе можно представить на рисунке 1.

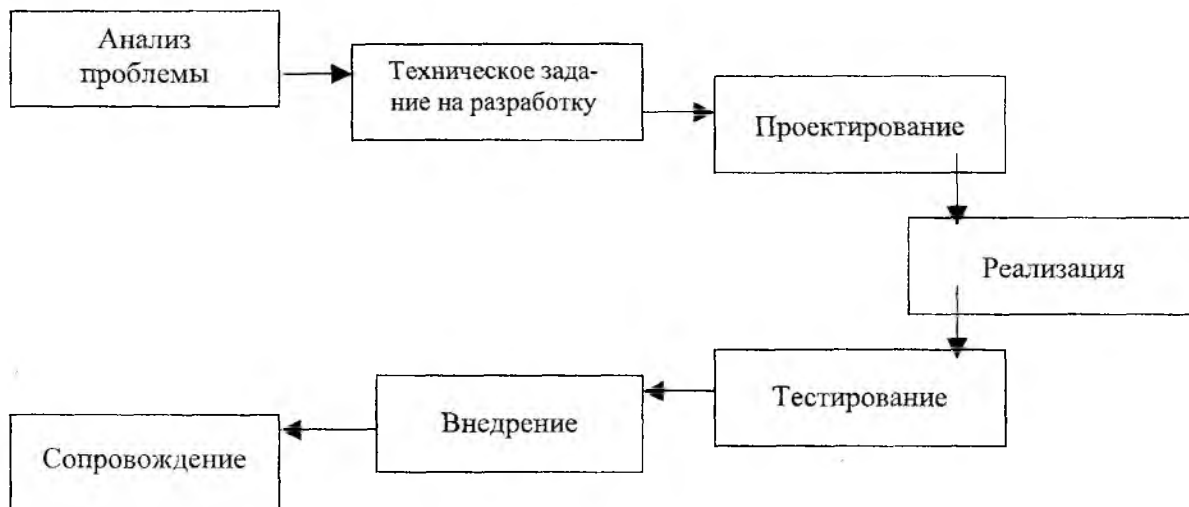


Рис. 1

Такая последовательность работ приводит к тому, что на каждом этапе работ формируется свой коллектив исполнителей, что естественно приводит к проблемам взаимодействия и понимания. Причем, число коллизий, на каждом этапе, определяется по формуле  $(n-1)!$ , где  $n$  – число исполнителей на этапе проведения работ. Эти неопределенности включаются в отчетные документы и передаются на дальнейшие этапы исполнения. Кроме этого, перечень формируемых и передаваемых документов и их содержание, на разных этапах исполнения, трактуется прикладными специалистами в различных интерпретациях и, как следствие, происходит отклонение от первоначально принятых решений, что, в конечном итоге, увеличивает сроки реализации проекта. Кроме того, возникает проблема тестирования проведенных работ. Так на этапе составления ТЗ, зачастую, невозможно учесть всей проблематики, из-за ограниченных возможностей человека и разобщенности специалистов. Это приводит к тому, что накапливаются противоречивые и несогласованные требования к функционированию, не отслеживаются фактические связи между подсистемами и многое другое. Традиционно, все эти проблемы решались на этапе тестирования выполненной системы. Соответствие же системы требованиям и выполнение поставленных целевых функций обнаруживалось только при проведении комплексных испытаний.

Опыт создания АРМов [1], предназначенных для тестирования системы управления на соответствие алгоритму функционирования, и проведение самого тестирования, показали, что в АРМе можно применить имитационную модель, которая обеспечивает имитацию поступления воздействия внешней среды и внутренних состояний объекта. Можно выполнить тестирование реализации алгоритма управления. Тестирование выполняется в автоматическом режиме и базируется на принципах дуального программирования, что обеспечивает достаточно высокую степень проверки адекватности реализации системы к алгоритму. Но эти мероприятия не позволяют решить главную проблему – проверить правильность ТЗ на этапе его составления, так как эти проблемы лежат на уровне разработки регламентирующей документации. Эти факты отражают недостаток чисто структурного подхода к разработке сложных систем. Рассмотрим подробнее каскадную модель разработки систем.

Она создавалась для однородных систем, где каждое приложение представляло собой единое целое. Ее основной характеристикой является разбиение всей разработки на этапы, причем переход с одного этапа на следующий происходит только после того, как будет полностью завершена работа на текущем. Каждый этап завершается выпуском полного комплекта документации, достаточного для того, чтобы разработка могла быть продолжена другой командой разработчиков. Положительные стороны применения каскадного подхода заключаются в следующем:

- на каждом этапе формируется законченный набор проектной документации, отвечающий критериям полноты и согласованности;
- выполняемые в логичной последовательности этапы работ позволяют планировать сроки завершения всех работ и соответствующие затраты.

Каскадный подход хорошо зарекомендовал себя при построении систем, для которых в самом начале разработки можно достаточно точно и полно сформулировать все требования, с тем, чтобы предоставить разработчикам свободу реализовывать их как можно лучше с технической точки зрения. В эту категорию попадают сложные расчетные системы, системы реального времени и другие подобные задачи. Однако, в процессе использования этого подхода обнаружился ряд его недостатков, вызванных прежде всего тем, что реальный процесс создания никогда полностью не укладывался в такую жесткую схему. В процессе создания постоянно возникает потребность в возврате к предыдущим этапам и уточнении или пересмотре ранее принятых решений. В результате реальный процесс создания принимает следующий вид (рис. 2):

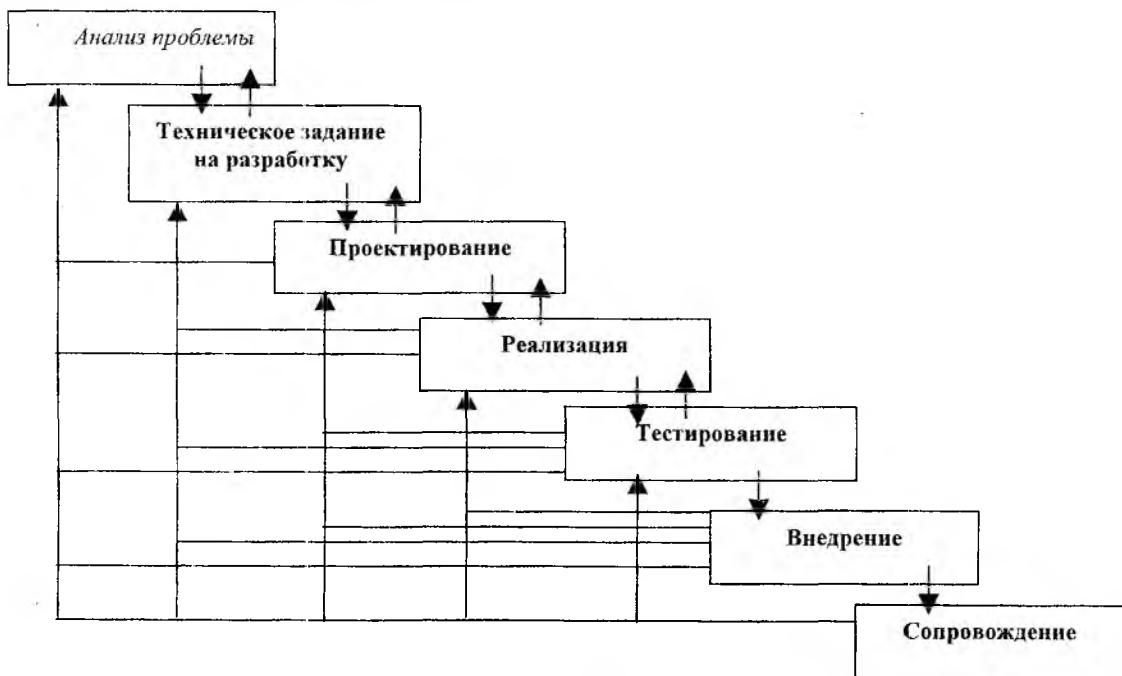


Рис.2

Основным недостатком каскадного подхода является существенное запаздывание с получением результатов. Согласование результатов производится только в точках, планируемых после завершения каждого этапа работ, требования к системе "заморожены" в виде технического задания на все время создания. Для преодоления перечисленных проблем может быть применена спиральная модель (рисунок 3), делающая упор на начальные этапы: анализ и проектирование. Каждый виток спирали соответствует созданию фрагмента или версии системы, на котором уточняются цели и характеристики проекта, определяется его качество, планируются работы следующего витка спирали. Разработка итерациями отражает объективно существующий спиральный цикл создания системы. Неполное завершение работ на каждом этапе позволяет переходить на следующий этап, не дожидаясь полного завершения работы на текущем этапе. Главная же задача - как можно быстрее показать заказчикам системы работоспособный продукт, тем самым, активизируя процесс уточнения и дополнения требований.

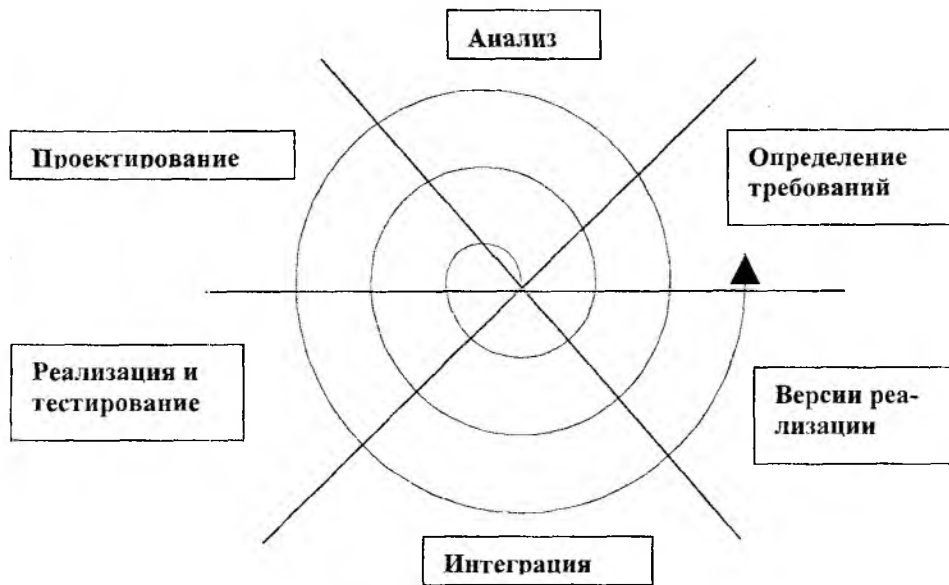


Рис. 3

Применение спиральной модели на современном этапе разработки систем просматривается при создании информационных систем, использующих предназначенные для этого CASE-средства [2]. Для реализации спиральной модели широко применяется объектно-ориентированный подход к разработке. Для разработки информационных систем известны, например, среды BPwin, ERwin, позволяющие разрабатывать системы в виде диаграмм. Эти диаграммы (IDEF0, IDEF3, DFD, IDEF1, IDEF1X, ERD) позволяют рассматривать систему как взаимосвязанные работы, как совокупность объектов, как логическую схему взаимодействия информационных процессов.

Появление языка разработки сложных систем UML [3] позволило более приблизиться к идеалу спиральной модели.

Использование объектно-ориентированного подхода к разработке системы выдвинуло ряд проблем, одной из которых является проблема декомпозиции – «как декомпозировать систему: по объектам или по функциям?». Ответ на этот вопрос дает мнение Буча [4]: «Как правильно разделить сложную систему - по алгоритмам или по объектам? И по алгоритмам, и по объектам. Разделение по алгоритмам концентрирует внимание на порядке происходящих событий, а разделение по объектам придает особое значение факторам, либо вызывающим действия, либо являющихся объектами приложения этих действий».

Объектно-ориентированный подход к разработке систем логически продолжается компонентной технологией. Основной тенденцией в современной индустрии программного обеспечения является переход к «сборке» программ из готовых и относительно универсальных компонентов, которые функционируют под управлением компонентных сред. Компонентная среда берет на себя оптимальное использование ресурсов компьютера и сетевого оборудования, взаимодействие с различными операционными системами прикладных объектов, быстрое создание удобных инструментов пользователя.

При разработке аппаратных средств широко применяется методика программного моделирования. В качестве языка моделирования в последнее время используется VHDL [5], который потребовал разработки методики моделирования цифровых устройств. Одна из проблем моделирования – значительные затраты труда программистов, поскольку каждая модель есть поведенческое представление некоторого блока цифровой логики на языке VHDL. Поэтому необходимы методы и средства разработки, которые освобождали бы разработчиков моделей от многих рутинных работ и ускоряли бы процесс разработки, повышая его надежность. Здесь мы имеем проблему аналогичную той, что возникает при разработке программного обеспечения.

Автоматизация процесса разработки программ в общем виде, по-видимому, неразрешима, однако опыт показывает, что отдельные операции технологической цепочки могут быть автоматизированы. Так, например, в объектно-ориентированном подходе с использованием языка UML выполня-

ется построение различных диаграмм, с уровня которых уже возможна автоматическая генерация кода. В компонентной технологии, код можно получить автоматически, описав интерфейсы компонент.

Повышение качества автоматизации технологической цепочки разработки программного обеспечения зависит от интеллектуального уровня различных этапов разработки, что подтверждается всей историей создания CASE-средств.

В последнее время разработчики программных средств широко используют программные компоненты, именуемые интеллектуальными агентами. Интеллектуальные агенты – это программы, моделирующие интеллектуальную деятельность человека и используются как компоненты в компонентной технологии. Создание интеллектуальных агентов выдвигает те же проблемы, что и программирование вообще.

Наиболее творческим этапом в создании программных продуктов является процесс анализа и создания концептуальной модели разработки системы. В [3] этому этапу соответствует определение процессов и создание концептуальной модели. От этого, насколько успешно выполнен этот этап зависит дальнейший ход разработки (в структурном подходе это совпадает с правилами разработки технического задания).

В существующей технологической цепочке разработки этот этап наименее автоматизированная часть. Разработчики системы, составив прецеденты, приступают к построению приблизительной концептуальной модели, которая будет затем уточняться в деталях. Если эта приблизительная модель имеет много объектов и связей между ними, то велика вероятность получения неверных решений. Эта вероятность увеличивается, если учесть способность разработчиков «додумывать» неясно описанные части. Поэтому автоматизация процесса построения концептуальной модели представляется весьма актуальной задачей, которую можно решить только с использованием средств искусственного интеллекта.

Для описания прецедентов, которые являются базой при рассмотрении концептуальной модели, используют естественный язык, различные графовые модели, искусственные языки. Для автоматического построения модели необходимо использовать методы анализа языков и базы знаний, отражающие связи между концептами. Необходимо ограничить описание системы с помощью естественно-языковых конструкций, используя для этого простые повествовательные предложения, сложные предложения, отражающие причинно следственную связь, одновременность, следование. В этом случае можно реально говорить о надежном распознавании естественно-языковых конструкций.

Автоматически построенная концептуальная модель не является объектом последующей обработки. Она позволит разработчику проанализировать «постановку задачи» на полноту информации, необходимой для разработки, на оборванные взаимосвязи между объектами разработки, на неясные описания. Все это можно сделать на более ранней стадии разработки, чем в существующих технологиях.

Решение задачи автоматического построения концептуальной модели возможно с использованием ранее предложенных авторами методов анализа естественного языка, методов построения и использования трехуровневых баз знаний. Эти методы могут быть использованы при повышении «интеллектуального уровня» других этапов разработки программного продукта.

**Список литературы:** 1. *Способ отладки программного обеспечения...* / Биглов Ю.Ш., Харченко С.Л. и др. // ЦНТИ «Поиск» ПТО, 1984, №11. 2. *Маклаков С.В.* ВРwin и ERwin. CASE-средства разработки информационных систем. М.: Диалог-МИФИ, 2000. 256 с. 3. *Ларман, Крэг.* Применение UML и шаблонов проектирования. Пер. с англ.: Уч. пос. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 496 с. 4. *Буч Г.* Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. М.: Кондор, 1992. 519с. 5. *Армстронг Дж.Р.* Моделирование цифровых систем на языке VHDL: Пер. с англ. М.: Мир, 1992. 175с.

*Поступила в редколлегию 13.08.2002*

УДК 681.518:004.93'1

А. С. КРАСНОПОЯСОВСЬКИЙ

ІНФОРМАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ ПРОГНОЗУЮЧОЇ ІСТЕМИ ПІДТРИМКИ  
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ЩО НАВЧАЄТЬСЯ

Суттєвий прогрес в інформаційних технологіях за останні роки дозволяє в рамках алгоритмічного підходу отримати практичні результати у розв'язанні задачі прогнозування науково-технічного розвитку інтелектуальних систем контролю та управління (ІСКУ). Для досягнення цієї мети необхідно розроблення якісно нових методів розв'язання прогностичних задач за допомогою ЕОМ шляхом моделювання окремих сторін процесу творчого мислення людини. Розв'язок цієї надскладної задачі пов'язується з розвитком евристичних методів, які орієнтовані на розроблення принципів і дослідження механізму оброблення інформації людиною на різних етапах її діяльності при прийнятті рішень [1]. Розглянемо підхід до вирішення проблеми інформаційного синтезу системи підтримки прийняття рішень (СППР), яка орієнтована на прогнозування науково-технічного розвитку перспективної ІСКУ, що навчається (самонавчається), в рамках екстремально-інформаційного методу функціонально-статистичних випробувань (МФСВ) [2, 3].

## Методологічні та теоретичні положення підходу.

Основний недолік методів евристичного прогнозування, окрім їх суб'єктивності, обумовлений труднощами їх реалізації, що пов'язано як з дефіцитом кваліфікованих експертів і організаторів експертизи, так і з методологічними проблемами формалізації процесів освоєння та подання знань і реалізації правдоподібних висновків. Природним розвитком методології прогнозування зміни функціонального, а, отже, і технічного стану складної системи стала поява нового кібернетичного напрямку - класифікаційного прогнозування [4]. Саме завдяки застосуванню методів і алгоритмів навчання, розроблених в теорії автоматичної класифікації, визнані у світі фахівці [5] пов'язують подолання існуючих методологічних ускладнень в інженерії знань. Оскільки ядро кожної експертної системи складається з бази знань і машинних методів логічних висновків, то розглядаючи процес навчання СППР як формування бази знань, а процес екзамену як прийняття правдоподібних висновків, подамо структуру експертної системи, що навчається, у вигляді, показаному на рис. 1. Розглянемо процес узгодження рішень в рамках прогностичного дискримінантного класифікаційного аналізу за МФСВ. Нехай  $B$  - множина допустимих рішень в метричному просторі  $\mathbf{R}$  і існує для  $B \neq \emptyset$  система підмножин  $\Lambda = \{B_m\} \subset \mathbf{R}$ ,  $m = 1, \overline{M}$ , яка є  $\varepsilon$ -покриттям множини  $B$ , якщо діаметр  $d(B_m)$  будь-якої множини  $B_m \in \Lambda$ , який визначається як  $d(B_m) = \sup_{b_i, b_j \in B_m} (b_i, b_j)$ , не перевищує  $\varepsilon$  ( $0 < \varepsilon < 1$ ), тобто  $B \subseteq \bigcup_{B_m \in \Lambda} B_m$ . Завдання діаметра множини  $B_m$  обумовлює наявність її геометричного центру, який є

ядром  $\text{Ker} B_m$ . Введемо міру  $\mu(\Lambda)$  в просторі  $\mathbf{R}$ . Оскільки  $B_m \in \Lambda \leftrightarrow \mu(\Lambda) = \beta_m$ ,  $m = \overline{1, M}$ , то  $\beta_m = d(B_m) / d(\Lambda)$ , тобто є відношенням діаметрів множин  $B_m$  і  $\Lambda$ . Введена міра  $\beta_m$  є адитивною і нормованою, оскільки  $\Lambda \subseteq \bigcup_{B_m \in \Lambda} B_m$  і  $\sum_{m=1}^M \beta_m = 1$  за визначенням. Прийнемо за модель прийняття рішень бінарну

(двоальтернативну) інформаційну деревовидну структуру, в якій послідовно на кожному ярусі реалізується продукційне правило "якщо-то-інакше" і яка знайшла широке практичне застосування в експертних системах. Тоді рішення будемо розглядати як кортеж елементарних рішень, які приймаються на  $\xi$ -му ярусі інформаційного дерева

$$B_m = \langle b_{m,1}, \dots, b_{m,\xi}, \dots, b_{m,\Xi} \rangle,$$

де  $\Xi$  - кількість ярусів.

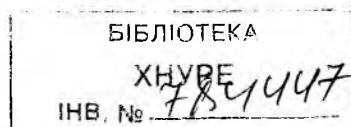




Рис.1

Оскільки експерт приймає рішення за умов неповної інформації, то інформаційне дерево слід розглядати як імовірнісний граф, елементарні рішення – як випадкові величини, а процес прийняття ефективних експертних оцінок здійснюється в рамках детерміновано-статистичного підходу, який вимагає введення прийнятних з практичних міркувань обмежень на діаметр підмножини  $B_m$ :

$$Ker B_m \notin K_m^0; 2) Ker B_m \in d(B_m); 3) d(B_m) \neq \emptyset, \quad (1)$$

тобто діаметр  $d(B_m)$  містить не менше трьох вершин векторів – реалізацій допустимих рішень, включаючи ядро підмножини  $B_m$ . Отже, в силу визначення міри  $\mu(B)$  наближенням “точного” контейнера для класу розбиття  $B_m$  може бути гіперсфера з радіусом  $d(x_0 \oplus \lambda) = d(B_m) / 2$ , де  $\lambda$  – деяка вершина, яка належить гіперсфері класу  $B_m$ . Оскільки у загальному випадку існує перетин допустимих множин  $B_m$ , то будемо поділяти гіпотезу компактності реалізацій допустимих рішень на гіпотезу чіткої компактності (перетин класів відсутній) і гіпотезу нечіткої компактності, яка обумовлює побудову на етапі навчання СППР нечіткого розбиття простору допустимих рішень.

Відомі кількісні методи оцінки узгодження суджень групи експертів мають відносно низький рівень алгоритмічної формалізації, що є стримуючим фактором широкого застосування ЕОМ в методах експертних оцінок. Тому все ще основний тягар в реалізації евристичних методів узгодження експертних оцінок лягає на плечі експертів-організаторів експертизи. З метою усунення цього недоліку за ха-

рактику однуності множини допустимих рішень  $B$  прийемо таку функцію міри  $H(\mu(B))$ , яка обертається в нуль, якщо всі елементи множини  $B$  однакові, та приймає максимальне значення, коли всі елементи множини  $B$  різні. Цим вимогам природно задовольняє ентропійна функція

$$H(\mu(B)) = - \sum_{X_m^o \in \mathfrak{R}} \beta_m \log_2 \beta_m, \quad (2)$$

де  $\beta_m = q_m / q$  – емпірична частота належності реалізацій-рішень класу  $X_m^o$  ( $q_m$  – кількість реалізацій-рішень, які відносяться до класу  $X_m^o$ ;  $q$  – загальна кількість реалізацій допустимих рішень, які приймаються експертами). Взагалі,  $q_m = n + r_m$ , де  $n$  – кількість реалізацій класу  $X_m^o$ ;  $r_m$  – кількість реалізацій класів  $A / X_m^o$ , які відносяться до класу  $X_m^o$ . Отже, замість (2) маємо

$$H(\mu(B)) = - \sum_{X_m^o \in \mathfrak{R}} \frac{q_m}{q} \log_2 \frac{q_m}{q}. \quad (3)$$

Функцію  $H(\mu(B))$  можна розглядати як міру неоднорідності експертних суджень за максимумом функції, або міру однорідності за її мінімумом. При цьому розв’язання проблеми узгодження експертних суджень зводиться до обчислення на кожному кроці експертизи інформаційної характеристики (3), яка є за своєю природою мірою різноманітності, а отже, дозволяє прямо реалізувати принцип обмеження різноманітності суджень експертів.

### Алгоритм прогностичного навчання СППР за МФСВ

Розглянемо основні етапи евристичного прогнозування науково-технічного розвитку перспективної ІСКУ в рамках МФСВ.

1. Формування мети прогнозу, альтернативних варіантів рішень розвитку подій і словника ознак прогнозування.

2. Формування альтернативних груп ( $M \geq 2$ ) експертів-навігаторів (далі просто “навігатори”), які є провідними спеціалістами в своїх галузях знань ( $n=30-40$ ). Кількість “навігаторів” в кожній групі бажано бути однаковою і визначається за умови отримання прийнятних статистичної похибки прогнозу  $\epsilon_0 = f(n)$  і можливостей організаторів у залученні експертів. При цьому обсяг вибіркової послідовності значень ознак прогнозування залежить від кількості експертів – навігаторів у групі. Основною задачею “навігаторів” є розробка реалізацій початкових рішень розвитку подій, які є об’єктами корекції в наступних турах експертизи.

3. Директивне завдання організаторами експертизи системи нормованих допусків на признаки прогнозування, які забезпечують прогностичну функціональну ефективність системи у відповідності з виробленою метою прогнозу.

4. Реалізується базова процедура МФСВ “TEACHING” [4] для побудови оптимального в інформаційному розумінні нечіткого розбиття  $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$  множини допустимих рішень, яке складається з прогностичних класів, що можуть в загальному випадку перетинатися.

5. Формується лічильник турів експертизи. При  $l=0$ , де  $l$  – змінна кількості турів експертизи, формується група експертів-інформаторів (далі – “інформатори”), які є безпосередніми потенційними розробниками або експлуатаційниками перспективної системи, що розробляється. Максимальна кількість “інформаторів” визначається за умови доцільності та можливостей до їх залучення у організаторів експертизи.

6.  $l := l + 1$ .

7. Проведення конференції туру, в якій “інформатори” мають можливість обміну інформацією між собою та здійснювати захист своїх позицій в присутності “навігаторів” з метою залучення на свій бік інших інформаторів”.

8. Формування “інформаторами” реалізацій рішень при початкових директивних контрольних допусках у вигляді впорядкованого бінарного вектора

$$x_l^{(j)} = \langle x_{l,1}^{(j)}, x_{l,2}^{(j)}, \dots, x_{l,i}^{(j)}, \dots, x_{l,N}^{(j)} \rangle, \quad j = \overline{1, n_l},$$

де  $n_l$  – кількість “інформаторів”, яких задіяно в  $l$ -му турі.

9. Реалізація алгоритму екзамену, який відображає реалізації  $\{x_l^{(j)}\}$  в області прогностичних класів  $\{X_m^o\}$ , які сформовані “навігаторами”, і здійснює їх класифікацію за максимумом функції належності

$$\mu_m = 1 - \frac{d_m}{d_m^*},$$

де  $d_m$  – кодова відстань реалізації  $x_l^{(j)}$  від центру класу  $X_m^o$ ;  $d_m^*$  – оптимальний радіус роздільної гіперповерхні класу  $X_m^o$ , який визначено за алгоритмом TEACHING.

10. Ранжування класів  $\{X_m^o\}$  за частотним критерієм міри  $\beta_m = q_m/q$ , де  $q_m$  – кількість реалізацій “інформаторів”, які віднесено до класу  $X_m^o$ ;  $q$  – загальна кількість “інформаторів”.

11. Клас першого рангу, для якого міра  $\beta_m$  максимальна, визначається основним, скорочується абетка  $\{X_m^o\}$  за критерієм максимальної міжцентрової кодової відстані від основного класу  $X_1^o$  і “навігатори” скорочених класів переводяться у розряд “інформаторів”.

12. Якщо  $H_{\epsilon}(l) > \epsilon_{\text{доп}}$ , де  $\epsilon_{\text{доп}}$  – допустиме значення міри однорідності рішень (любє малє позитивне число), то виконується пункт 13, інакше – пункт 15.

13. Порівняння:  $M \geq 2$ . Якщо ТАК, то виконується пункт 6, інакше – пункт 15.

14. Застосовується алгоритм МФСВ TEACHING для розбиття класу  $X_1^o$  на альтернативні класи ( $M \geq 2$ ) і виконується пункт 6.

15. Приймається рішення про зупинення експертизи у зв'язку з визначенням фінішного прогностичного класу  $X_1^*$ , здійснюється стимулювання “навігаторів” та “інформаторів”, які вели клас  $X_1^*$ , і залучення їх в якості провідних спеціалістів і консультантів для реалізації проекту.

Основними перевагами розглянутого алгоритму є:

- звільнення організаторів від суб'єктивних оцінок рішень, які пропонуються експертами;

- наявність механізму корегування колективних рішень завдяки механізму зворотного зв'язку – “навчання–екзамен–навчання”, при якому початкове розбиття  $\mathfrak{R}^{|M|}$  множини допустимих рішень трансформується до фінішного класу  $X_1^*$ ;

- зменшення навантаження на організаторів експертизи, основна функція яких зводиться до формування вхідних даних;

- кожна прогресивна науково-технічна ідея має шанс на втілення завдяки створенню на конференції туру умов відкритої конкуренції, яка позбавлена впливу адміністративного тиску;

Основним контраргументом проти розглянутого підходу може вважатися необхідність залучення відносно широкого кола висококваліфікованих фахівців, що може сприяти витіканню секретної або таємної комерційної інформації. Але тут потрібно враховувати, по-перше, що платнею за обмеження кола фахівців, які залучаються до системного аналізу перспективного проекту, є погіршена функціональна ефективність системи, що проектується, і практична неможливість впливу на її покращення з боку фахівців, які не залучалися до формування тактико-технічних характеристик системи і тому знаходяться в процесі її розробки в стадії певної ізолюваності. По-друге, основна частина експертів складається або з виконавців проекту, або майбутніх експлуатаційників виробу та замовників, які мають відношення до проекту в силу своїх службових обов'язків.

Розглянутий алгоритм знайшов застосування у Науковому центрі артилерії (м. Суми) при розробці тактико-технічних характеристик перспективної системи.

### Висновки

1. Формалізація на алгоритмічному рівні центрального питання експертних оцінок, пов'язаного з узгодженням суджень групи експертів, завдяки введенню інформаційних мір різноманітності рішень і застосування класифікаційного підходу в рамках МФСВ для побудови оптимального в інформаційному розумінні розбиття альтернативних класів на множині допустимих рішень зменшують навантаження як на організаторів, так і на учасників експертизи.

2. Реалізація алгоритму евристичного прогнозування науково-технічного розвитку в рамках МФСВ органічно пов'язана з процесом проектування і може розглядатися як етап формалізації тактико-технічного завдання на проектування перспективного виробу.

**Список літератури:** 1. *Lenat D.* The nature of heuristics // *Artificial Intelligence*. 1983. P.189–249. 2. *Красноясовський А.С.* Інформаційний синтез системи підтримки та прийняття рішень; що навчається // *Труды Одесского политехнического университета*, 2001. Вып.4 (16). С. 82–86. 3. *Красноясовський А.С.* Інформаційний синтез інтелектуальної системи контролю та управління, що самонавчається // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2001. №6. С. 63–67. 4. *Красноясовський А.С.* Оптимізація контейнерів класів розпізнавання за методом функціонально-статистичних випробувань // *Автоматизированные системы управления и приборы автоматки*. 2002. Вып.119. С. 69–76.

*Поступила в редколегію 2.9.2002*

УДК 519.71

Е. И. КУЧЕРЕНКО

## К ПРОБЛЕМЕ АНАЛИЗА ПОЛНОТЫ И НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ НЕЧЕТКИХ ЗНАНИЙ

### Введение

Важным аспектом построения эффективных интеллектуальных систем является обеспечение высокой достоверности принятия решений в условиях существенно нечеткой информации о состоянии взаимодействующих динамических процессов и представления знаний. Существующие решения во многом ориентированы на общие положения и подходы или, напротив, рассматривают только отдельные частные подходы к решаемой задаче, плохо формализованы, что делает их непригодными для решения практических задач. Исследования автора [1,2] во многом ориентированы на описание и моделирование свойств полноты и непротиворечивости промежуточных и терминальных целей принимаемых решений с использованием интеллектуальных технологий. Эти результаты не охватывают анализ свойств полноты и непротиворечивости данных и знаний об исходном состоянии процессов. Отсутствие же такой информации в ряде практических случаев не позволит пользователю эффективно принимать ответственные решения, может привести к их бессмысленности и даже вредности. В связи с этим автор поставил задачу исследовать свойства полноты и непротиворечивости в данных и знаниях об исходном состоянии объекта анализа с целью получения формализованного подхода к решению искомой задачи.

### 1. Постановка задачи

Множество динамических процессов  $\{\tilde{\Pi}_i\}, i \in I$  характеризуются значительной нечеткостью  $\{\mu_{\tilde{\Pi}_i}(k)\}$ , взаимодействуют в нечетком пространстве состояний, определяемом множеством нечетких векторов маркировки  $\{\tilde{M}(f)\}$  позиций  $\{\tilde{p}_j\}, j \in J$  нечеткой сетевой модели (НСМ) и ее расширений (РНСМ), построенной на основе аппарата расширенных интерпретированных нечетких сетей Петри [3]. Компоненты вектора  $\tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \{\tilde{M}(f)_w\}, w \in W$  характеризуются показателем нечеткости  $z_j(k) \in \{z_j(k)\}$ , где  $k$  - некоторая переменная, определяющая значение функции  $z_j(k)$ .

Значение маркировки  $\tilde{M}(\tilde{p}_j)$  определяет наличие или отсутствие данных или знаний о состоянии объекта и процессов в пространстве состояния модели. Начальное состояние объекта и процессов характеризуется вектором начальной маркировки  $\{\tilde{M}(f)_{0w}\}$ . Существует для некоторого подмножества

$$\{\tilde{M}(f)_{0w_1}\} \subset \{\tilde{M}(f)_{0w}\}, w_1 \in W_1, W_1 \subseteq W \quad (1)$$

ситуация, когда некоторые элементы  $\tilde{M}^l(\tilde{p}_j)$  из (1) доминируют в формировании вектора  $\tilde{M}(f)_{0w_1} \in \{\tilde{M}(f)_{0w_1}\}$ , определяющего пространство начального состояния НСМ (РНСМ). Существует также информация о других компонентах  $\tilde{M}^{ll}(\tilde{p}_j)$  из (1) по крайней мере, для некоторых из векторов  $\{\tilde{M}(f)_{0w_1}\}$  в виде их зависимости от компонент  $\tilde{M}^l(\tilde{p}_j)$  подмножества (1).

Необходимо определить формальные пути решения поставленной задачи:

- выявления свойств полноты исходных данных  $\{Pl_{0n_1}\}, n_1 \in N_1$  пространства состояний модели

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\} \left\{ \left( \forall Pl_{0n_1} \in \{Pi_{0n_1}\} Pl_{0n_1} = true \right), i \in I, n_1 \in N_1; \right. \quad (2)$$

- выявления свойств непротиворечивости исходных данных  $\left\{ \left\{ Npt_{0,s_1} \right\} \right\} s_1 \in S_1$  пространства состояний модели

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \left\{ \tilde{\Pi}_i \right\} \left\{ Npt_{0,s_1} \right\} = \emptyset; i \in I, s_1 \in S_1. \quad (3)$$

Исходное состояние модели представлено множеством векторов  $\left\{ \tilde{M}_0(f)_w \right\}$ .

## 2. Формализация и анализ свойств полноты и непротиворечивости исходных данных и знаний в пространстве состояний НСМ

В качестве исходных данных, как следует из изложенного выше, следует принять следующее:

- множество фактических начальных состояний системы  $\left\{ \tilde{A}_{0l}^{\parallel} \right\} l \in L$ ;
- множество ожидаемых начальных состояний системы  $\left\{ \tilde{A}_{0r}^{\perp} \right\} r \in R$ ;
- $\left\{ \mu_{\tilde{\Pi}_i}(k) \right\}$  - множество функций принадлежности  $i$ -му процессу.

Определим условия наличия свойств полноты исходных данных.

Рассмотрим возможные пути решения поставленной задачи (2).

*Утверждение 1.* Если при описании взаимодействующих процессов справедливо

$$\left| \left\{ \tilde{A}_{0r}^{\perp} \right\} \right| \leq \left| \left\{ \tilde{A}_{0l}^{\parallel} \right\} \right| \quad (4)$$

и

$$\left\{ \tilde{A}_{0r}^{\perp} \right\} \cap \left\{ \tilde{A}_{0l}^{\parallel} \right\} = \left\{ \tilde{A}_{0r}^{\perp} \right\} \quad (5)$$

а так же

$$\forall \tilde{A}_{0l}^{\parallel} \in \left\{ \tilde{A}_{0l}^{\parallel} \right\}, \forall \tilde{A}_{0r}^{\perp} \in \left\{ \tilde{A}_{0r}^{\perp} \right\} \mu_{\tilde{A}_{0l}^{\parallel}}(k_0) \geq \mu_{\tilde{A}_{0r}^{\perp}}(k_0), \quad (6)$$

$\mu_{\tilde{A}_{0l}^{\parallel}}(k_0), \mu_{\tilde{A}_{0r}^{\perp}}(k_0)$  – функция принадлежностей множеству соответственно фактических или ожидаемых решений, тогда система характеризуется полнотой принимаемых решений.

*Доказательство утверждения 1* непосредственно следует из постановки задачи исследований.

Используя результаты, полученные в [1, 2], определим:

- множество фактических начальных состояний  $\left\{ \tilde{A}_{0l}^{\parallel} \right\} l \in L$  интерпретируется в пространстве состояний НСМ множеством векторов начальной маркировки  $\left\{ \tilde{M}(f)_{0w}^{\parallel} \right\} w \in W$ ;

- множество ожидаемых начальных состояний  $\left\{ \tilde{A}_{0r}^{\perp} \right\} r \in R$  интерпретируется в пространстве состояний НСМ множеством ожидаемых векторов начальной маркировки позиций  $\left\{ \tilde{M}(f)_{0w}^{\perp} \right\} w \in W$ .

*Утверждение 2.* Система обладает полнотой исходных данных и знаний  $\left\{ Pl_{0n_1} \right\}, n_1 \in N_1$ , если в пространстве состояний НСМ, моделирующей процессы, для ненулевых компонент ожидаемых  $\left\{ \tilde{M}_1(f)_{0w}^{\perp} \right\} w \in W$  и фактических  $\left\{ \tilde{M}_2(f)_{0w}^{\parallel} \right\} w \in W$  начальных векторов  $\left\{ \tilde{M}(f)_{0w}^{\perp} \right\} w \in W, \left\{ \tilde{M}(f)_{0w}^{\parallel} \right\} w \in W$  справедливы следующие условия:

$$\forall \tilde{M}(f)_{0w}^{\perp} \in \left\{ \tilde{M}(f)_{0w}^{\perp} \right\}, \forall \tilde{M}(f)_{0w}^{\parallel} \in \left\{ \tilde{M}(f)_{0w}^{\parallel} \right\} \left| \left\{ \tilde{M}_1(f)_{0w}^{\perp} \right\} \right| \leq \left| \left\{ \tilde{M}_2(f)_{0w}^{\parallel} \right\} \right|; \quad (7)$$

$$\left\{ \tilde{M}_1(f)_{0w}^{\perp} \right\} \cap \left\{ \tilde{M}_2(f)_{0w}^{\parallel} \right\} = \left\{ \tilde{M}_1(f)_{0w}^{\perp} \right\}; \quad (8)$$

$$\forall \tilde{M}_1(f)_{0w}^{\perp} \in \left\{ \tilde{M}_1(f)_{0w}^{\perp} \right\}, \forall \tilde{M}_2(f)_{0w}^{\parallel} \in \left\{ \tilde{M}_2(f)_{0w}^{\parallel} \right\} \left\{ z_{\tilde{p}_j}^{\perp}(k_0) \right\} \geq \left\{ z_{\tilde{p}_j}^{\parallel}(k_0) \right\}. \quad (9)$$

Если, по крайней мере, одно из условий (7), (8), (9) не выполняется, то необходимо рассмотреть пути решения задачи обеспечения полноты исходных данных.

В случае, если не выполняется условие (9), то решение задачи возможно путем:

- повышения четкости как следствие вложения в решение задачи дополнительных ресурсов;
- снижение требований к значению четкости путем изменения значения  $z_j^1(k_0)$ .

Выполнение свойств полноты исходных данных и знаний (2), (7)-(9) очевидно не гарантирует непротиворечивости исходных данных и знаний (3). В связи с этим следует исследовать пути решения этой задачи.

Не выполнение свойств полноты исходных данных и знаний (7), (8) в интеллектуальных системах требует в ряде случаев дополнительных исследований. Решение задачи возможно путем использования взаимосвязи данных и знаний, полученных из опыта и полностью определяемых предметной областью.

*Определение 1.* Каждому из элементов  $\tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \tilde{M}(f)_{0w}$  поставим в соответствие показатель  $D_j$ , который отображает относительную важность некоторой компоненты  $\tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \tilde{M}(f)_{0w}$  в представлении данных и знаний, на основании которых формируется целевое решение (решения).

Тогда для некоторого подмножества компонент из  $\tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \{\tilde{M}(f)_{0w1}\}$  можно выделить подмножество  $\{D_{j_1}\} \subset \{D_j\}, j_1 \in J_1, J_1 \subset J$ , элементы которого доминируют над другими компонентами  $\{D_{j_2}\} \subset \{D_j\}, \{D_{j_2}\} \neq \{D_{j_1}\}, j_2 \in J_2, J_2 \subset J$ , то есть:

$$\exists(D_{j_2} \in \{D_{j_2}\}, D_{j_1} \in \{D_{j_1}\}) | D_{j_2} \prec D_{j_1}. \tag{10}$$

*Замечание 1.* Здесь понятие доминирования предполагает преобладание в смысле важности соответствующей компоненты над некоторыми другими, что позволяет также реализовать свойство подмножества компонент из  $\tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \{\tilde{M}(f)_{0w1}\}$  прогнозировать свойства компонент из  $\tilde{M}(\tilde{p}_j) \notin \{\tilde{M}(f)_{0w1}\}$  в условиях относительной неопределенности, что формально и определяет (10).

*Следствие 1.* Используя свойство доминирования  $D_{j_2} \prec D_{j_1}$  в (10), мы получаем хорошую возможность генерации вектора  $\{\tilde{M}(f)_{0w}\}_{w \in W}$  в соответствии с  $\{\tilde{M}(f)_{0w1}\}_{w \in W}$  согласно (7), (8).

В ряде практических случаев, свойство полноты может быть реализовано на основе нечеткой интервальной логики, некоторые общие представления которой приведены в [4].

Пусть в некотором векторе из  $\{\tilde{M}(f)_{0w}\}_{w \in W}$  существует компонента  $\tilde{M}(\tilde{p}_{j=\alpha}) \in \tilde{M}(f)_{0w}$ , о которой отсутствует достоверная информация за исключением того, что для нее выполняется условие (10). Тогда  $z_{j=\alpha}(k)$  может быть представлено как

$$0 \leq \mu_1(k) \leq z_{j=\alpha}(k) \leq \mu_2(k), \tag{11}$$

где  $\mu_1(k), \mu_2(k)$  – некоторые функции принадлежности, которые определяются с использованием условия (10).

В ряде обоснованных случаев решение возможно также на основе следующих подходов:

$$-0 \leq \mu_1(k) \leq z_{j=\alpha}(k) \leq not \mu_2(k); \tag{12}$$

$$-0 \leq not \mu_1(k) \leq z_{j=\alpha}(k) \leq not \mu_2(k); \tag{13}$$

$$-0 \leq not \mu_1(k) \leq z_{j=\alpha}(k) \leq \mu_2(k); \tag{14}$$

$$-0 \leq \mu_1(k) \leq not z_{j=\alpha}(k) \leq \mu_2(k). \tag{15}$$

Используя значение  $z_{j=\alpha}(k)$ , мы можем также сформировать значения  $\exists \tilde{M}(\tilde{p}_{j=\alpha}) | \tilde{M}(\tilde{p}_{j=\alpha}) \in \tilde{M}_0(f)_w$  как нахождение:

$$\tilde{M}(\tilde{p}_{j=\alpha}) = \begin{cases} 1, \text{if } z_{j=\alpha}(k_0) \geq z_j(k_0)^* \\ 0, \text{if } z_{j=\alpha}(k_0) \leq z_{j=\alpha}(k_0)^* \end{cases}, \quad (16)$$

где  $z_{j=\alpha}(k_0)^*$  – минимально допустимое, исходя из предметной области, значение соответствующей функции принадлежности.

*Замечание 2.* Следует отметить, что реализация процедур (10)-(16) позволяет находить некоторые оценочные значения компонент вектора  $\{\tilde{M}(f)\|_{0w}\}$ ,  $w \in W$  при его генерации. Выбор подхода из (12)-(16) и их возможных производных определяется на основе анализа предметной области и аналитических зависимостей соответствующих функций принадлежности.

В практических реализациях важно нахождение конкретных значений  $k_0$  в функциях принадлежности. Процедура реализуема на основе подходов к дефазификации, некоторые из которых изложены в [5].

В общем случае полученное представление результирующей функции  $z_{j=\alpha}(k)$  может иметь достаточно сложную зависимость, что требует более содержательных подходов к нахождению значения  $z_{j=\alpha}(k_0)$ . В работе для этой цели предлагаются решения, основанные на существенной модификации подходов, предложенных для дефазификации в [5]. Суть модификации заключается в том, что соответствующие процедуры мы относим к нахождению  $z_{j=\alpha}(k_0)$ , а не к  $k_0$ , как это предполагается в [5]. Подход позволяет получить некоторые новые результаты анализа свойств нечеткости в интеллектуальных системах обработки знаний.

Определим условия наличия свойств непротиворечивости исходных данных.

Рассмотрим возможные пути решения поставленной задачи (3).

Сформулируем следующее утверждение.

*Утверждение 3.* Если при описании взаимодействующих процессов справедливо

$$\{\tilde{A}_{0r}\| = \{\tilde{A}_{0l}\|\}, \quad (17)$$

а так же 
$$\forall \tilde{A}_{0l}\| \in \{\tilde{A}_{0l}\|\}, \forall \tilde{A}_{0r}\| \in \{\tilde{A}_{0r}\|\} \left| \mu_{\tilde{A}_{0l}}(k_0) \geq \mu_{\tilde{A}_{0r}}(k_0), \quad (18)$$

где  $\mu_{\tilde{A}_{0l}}(k_0), \mu_{\tilde{A}_{0r}}(k_0)$  – функции принадлежности множествам соответственно фактических и ожидаемых решений, то система характеризуется полнотой исходных данных и знаний в пространстве состояний.

*Доказательство утверждения 3* непосредственно следует из постановки задачи исследований.

Тогда, приняв во внимание приведенную выше интерпретацию, можем утверждать следующее.

*Утверждение 4.* Система характеризуется непротиворечивостью принимаемых исходных данных и знаний (3), если в пространстве состояний модели, моделирующей процессы, справедливо:

$$-\forall \tilde{M}(f)\|_{0w} \in \{\tilde{M}(f)\|_{0w}\}, \forall \tilde{M}(f)\|_{0w} \in \{\tilde{M}(f)\|_{0w}\} \|\{\tilde{M}(f)\|_{0w}\} = \|\{\tilde{M}(f)\|_{0w}\}; \quad (19)$$

$$-\forall \tilde{M}(f)\|_{0w} \in \{\tilde{M}(f)\|_{0w}\}, \forall \tilde{M}(f)\|_{0w} \in \{\tilde{M}(f)\|_{0w}\} \left\{ z_{\tilde{p}_j}(k_0) \right\} \geq \left\{ z_{\tilde{p}_j}(k_0) \right\}. \quad (20)$$

Если, по крайней мере, одно из условий (19), (20) не выполняется, то необходимо рассмотреть пути решения задачи обеспечения непротиворечивости исходных данных и знаний.

В случае, если не выполняется условие (19), то решение задачи возможно путем:

- содержательного анализа предметной области с целью выявления причин отсутствия справедливости (19);

- используя свойство доминирования  $D_{j_2} < D_{j_1}$  (10), осуществление генерации вектора  $\{\tilde{M}(f)_{0w}\}_{w \in W}$  в соответствии с  $\{\tilde{M}(f)_{0w}\}_{w \in W}$ ;
- решение задачи генерации вектора  $\{\tilde{M}(f)_{0w}\}_{w \in W}$  в соответствии с  $\{\tilde{M}(f)_{0w}\}_{w \in W}$  на основе нечеткой интервальной логики.

В случае, если не выполняется условие (20), то решение задачи возможно путем:

- повышения четкости как следствие вложения в решение задачи дополнительных ресурсов;
- снижение требований к значению четкости путем изменения значения  $z_j^l(k_0)$ .

Анализ свойств полноты и непротиворечивости исходных данных и знаний с использованием нечетких моделей [3], построенных на основе аппарата расширенных интерпретированных нечетких сетей Петри, дает возможность пользователю на основе формальных подходов определить свойства полноты и непротиворечивости исходных данных и знаний в пространстве состояний модели и принять необходимые решения о модификации реальных процессов. Такой подход расширяет возможности результатов, полученных в работах [1, 2], и положен в основу решения практических задач построения эффективных интеллектуальных технологий в условиях существенно нечеткой среды развития процессов.

### Выводы

1. На основе анализа условий и особенностей функционирования интеллектуальных систем, существенно нечетких процессов в сложных технологических комплексах сформулировано и обосновано представление о полноте и непротиворечивости исходных данных и знаний в пространстве состояний систем обработки знаний.

2. Предложен подход к формализации и анализу выявления свойств полноты и непротиворечивости исходных данных и знаний в пространстве состояний нечетких сетевых моделей.

3. Рассмотрены и обоснованы вопросы модификации вектора начальной маркировки на основе предложенного подхода с последующей генерацией нечеткого вектора начальной маркировки пространства состояний динамических взаимодействующих процессов, представления о доминировании некоторых компонент вектора и нечеткой интервальной логики.

4. Подход положен в основу построения эффективных инструментальных средств анализа нечетких процессов в реальных системах на основе интеллектуальных технологий.

**Список литературы:** 1. Кучеренко Е.И. О полноте принимаемых решений в нечетких условиях функционирования технологических объектов // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 97 - 102. 2. Кучеренко Е.И. К вопросу о непротиворечивости принимаемых решений в нечетких условиях функционирования объектов анализа // АСУ и приборы автоматики. 2000. Вып. 113. С. 75 - 81. 3. Кучеренко Е.И. Проблемы моделирования и анализа нечетких процессов управления // Радиоэлектроника и информатика 2001. № 2 (15). С. 118 - 121. 4. Егоров А.С., Шайкин А.Н. Логическое моделирование в условиях неопределенности на базе нечетких интервальных сетей Петри // Известия АН РФ. Теория и системы управления. 2002. №2. С. 134-139. 5. Tsoukalas L.H., Uhrig R.E. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. New York: John Wiley&Sons.Inc, 1997. 587 p.

Поступила в редколлегию 14.05.2002.

УДК 519.68; 519.7

В.В. КУЛИБАБА

## ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ OMSAD ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ CASE-СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Целью данной работы является исследование опыта проектирования сложных программных систем и инструментариев, автоматизирующих этот процесс.

Любая создаваемая информационная система является проекцией (отражением) протекающих в обществе информационных процессов, сложность такой системы пропорциональна сложности моделируемых явлений. Таким образом, чем сложнее поставленная задача, тем труднее ее решить, что влечет: увеличение трудозатрат, увеличение времени разработки, увеличение финансовых затрат. Попытками решения этой проблемы стали: разработка методологий и технологий программирования, введение стандартов, разработка повторно используемых компонент и т.д. [1-7].

Как ответ на растущую сложность программных систем появились методы, помогающие упорядочить процесс создания сложных программных систем, доступные всей группе разработчиков [8, 9, 10].

Исторически первой методологией программирования стала методология императивного программирования, известная так же как методология императивного структурного программирования (структурное программирование). Использование данной методологии совместно с классическим подходом к проектированию (каскадный подход) предоставили мощный инструмент для создания программных систем. Растущая сложность проектируемых систем потребовала от разработчиков тщательного проведения этапов анализа и проектирования, дало толчок к развитию методов структурно-системного анализа (SADT, SSADM) и разработке новых принципов кодирования [6, 10, 11, 12, 13].

В настоящее время наиболее популярной методологией программирования признана объектно-ориентированная методология. Она развилась вследствие неразрешимости ряда проблем, присущих структурной методологии программирования, возникающих из-за использования в ней функциональной декомпозиции. Популярность объектно-ориентированной методологии принесла используемая в ней объектная декомпозиция предметной области, однако использование существующих наработок из методологии императивного программирования оказалось невозможным по причине ортогональности данных методологий. Это обусловило развитие новых спецификаций, языков моделирования: Booch, OMT, OOSE, UML [3-5, 7, 14, 15].

Как выяснилось в дальнейшем, проблемы анализа сложных программных систем в объектно-ориентированной методологии не были решены полностью. Это связано с тем, что используемые в настоящее время методы оказались сильно чувствительны к уровню знаний и взглядам специалиста, их применяющего, из-за отсутствия формальных методов идентификации структуры предметной области, адекватным условиям решаемой задачи [7, 16-18].

Возможные неудачи из-за возможных ошибок на этапах анализа и проектирования дало толчок к развитию технологических процессов, подходов, методов управления, совершенствованию языков программирования, разработке методов имитационного моделирования и т.д. [2-5, 7-9, 13, 19-23]. Это позволило понизить сложность разработки программного обеспечения, однако не решило проблемы окончательно.

К примеру, в настоящее время прослеживается тенденция в развитии технологических подходов по двум направлениям: максимизация качества и минимизация времени [4, 11].

Исторически первой моделью из известных технологических подходов была каскадная модель, получившая широкое распространение благодаря ее положительным сторонам:

- процесс разработки разбит на этапы;
- большое внимание уделяется этапу анализа и проектирования;
- переход на следующий этап четко регламентирован и происходит только после завершения предыдущего;
- после завершения этапа формируется законченный набор проектной документации, достаточной для продолжения работы, отвечающий критериям полноты и согласованности;
- жесткая структура позволяет четко спланировать сроки завершения и соответствующие затраты на разработку [1, 3, 4, 11, 12, 22].

Однако, в силу существенных недостатков каскадной модели, вызванных, прежде всего тем, что реальный процесс создания программного обеспечения никогда полностью не укладывался в рекомендуемую жесткую схему, в процессе создания программного обеспечения постоянно возникает потребность в уточнении или пересмотре ранее принятых решений, что влечет за собой существенную задержку получения результатов. При этом:

- ошибки и недоработки на любом из этапов выяснялись, как правило, на последующих этапах работ, что приводит к необходимости возврата на предыдущие стадии;
- согласованность результатов с пользователем производилась только между этапами, с условием того, что этап должен быть завершен;
- клиент не мог изменить свои требования, требования к разрабатываемой системе, они были "заморожены" в виде технического задания на все время ее создания;
- в случае неточного изложения требований или их изменения в течение длительного периода создания программного обеспечения, разрабатывалась система, не удовлетворяющая потребностям пользователей;
- повышалась вероятность быстрого устаревания моделей (как функциональных, так и информационных) автоматизируемого объекта;
- резко возрастала сложность распараллеливания работ по проекту, чрезмерная информационная перенасыщенность каждого этапа, сложность управления проектом, высокий уровень риска и ненадежность инвестиций [1, 4, 12, 24].

Используемые подходы и методы реализации оказались неспособными снизить нагрузку на этапе анализа, методы структурного подхода не отвечали быстро меняющимся требованиям в процессе разработки программного обеспечения из-за их ориентированность на процессы [3, 4].

Таким образом, стала очевидной необходимость дальнейшего развития используемой модели жизненного цикла. Следующим этапом в развитии модели жизненного цикла стало появление поэтапной модели жизненного цикла с промежуточным контролем, а затем - «спиральной» [8, 11].

Спиральная модель повысила значимость анализа и проектирования, процесс разработки разбил на серии последовательных итераций, что соответствовало действительному процессу разработки. Такой итерационный подход отражает существующий процесс разработки программной системы. Преимуществами его является:

- неполное завершение работ на каждом этапе не тормозит разработку;
- быстрое получение результата работы и возможность его согласования с заказчиком;
- возможность проведения анализа и проектирования последовательно, уточняя детализацию по мере необходимости на следующем итерационном витке.

Основной проблемой данной модели является определение момента перехода на следующий этап, следовательно, нет четкого определенного критерия окончания работы, что приводит к финансовым затратам, не давая желаемого результата. При большем числе итераций разработка по этой модели нуждается в глубокой автоматизации всех процессов, иначе она становится неэффективной [1, 11, 12, 24]. «На практике у заказчиков и пользователей иногда возникает ощущение нестабильности продукта, так как они не успевают уследить за слишком быстрыми изменениями в нем» [11, стр. 6].

Замеченные недостатки показали необходимость дальнейших исследований в данной области, что дало толчок к адаптации существующих моделей разработки программных систем, разработке новых моделей и рекомендаций к их применению. Примером могут служить существующие подходы: подходы на основе каркасных моделей (RUP от фирмы Rational [25], MSF фирмы Microsoft [24, 26, 27]), генетические подходы (синтезирующее программирование, сборочное программирование), гибкие подходы (итеративная разработка, экстремальное программирование) и т.д. [4, 27- 29].

Использование стандартов описывающих процесс проектирования программной системы (ISO/IEC 12207:1995 и аналогичный ему в Украине ДСТУ3918-1999), позволило перейти к общей системе понятий, однако этого оказалось недостаточно в условиях быстро меняющихся требований к разработке программного обеспечения [30].

Попытка внедрения в разрабатываемую систему повторно используемых компонент (программного кода, библиотек, объектов, шаблонов и т.д.) [2, 14, 23, 31-34] так же указала на ряд существующих проблем [2, 31, 35, 36]. Так в [2] отмечается, что разработка программного обеспечения на основе повторно используемых компонент – систематический и целеустремленный процесс, требующий создания каталога готовых решений (повторно используемых компонент).

Большой объем информации, поступающий при разработке программных систем, а так же существенные ограничения по объему информации, которую человек может воспринять, запомнить и обработать, послужили причиной возникновения CASE (Compute-Aided Software/System Engineering)-средств [7, 10, 12, 37-39]. Это позволило заметно улучшить процесс проектирования систем, автоматизировав стадии (некоторые функции) жизненного цикла разработки программного обеспечения, создать разнообразные программные инструменты, которые позволяют:

- обеспечить высокий уровень технологической поддержки процессов разработки и сопровождения программного обеспечения;
- положительно воздействовать на производительность, качество продукции, соблюдение стандартов, документирование;
- поддержать приемлемый уровень отдачи от вкладываемых в нее инвестиций;
- повысить качество программного продукта;
- сократить стоимость проекта и осуществить поставку системы в запланированные сроки [1].

Отметим, что существующие CASE-средства создаются под конкретную парадигму моделирования систем, поэтому недостатки используемой методологии переходят в недостатки существующего CASE-средства [40-42]. Проведенный анализ литературных источников на предмет используемых методологий показал следующие недостатки существующих CASE-систем:

- большинство используемых CASE-средств используют ООТ (объектно-ориентированную технологию), однако используемые в ООТ средства анализа сильно зависят от опыта и мировоззрения использующего их человека [1, 11, 12];
- большинство CASE-средств не дают 100% гарантии в том, что построенная модель будет адекватна исследуемой [17, 40];
- используемый в CASE-средствах UML и созданный RUP для поддержки данного языка обладает рядом существенных недостатков [40], чего лишена методология IDEF [40], однако данная методология не отражает требований к системе [11, 12, 17, 41, 42]: не поддерживает цикличность разработки, ориентирована на процессы, следовательно, построенная система трудна в сопровождении и плохо эволюционирует;
- фактически отсутствует практика использования в предлагаемых CASE-средствах аппарата анализа исследуемой области, многие разработчики CASE-средств ограничиваются изданием своих методических указаний к проектированию (рекомендациями), или же целиком ложатся на опыт и квалификацию в этой области разработчика модели [17, 18, 43];
- все CASE-средства ориентированы в своей работе на определенную методологию проектирования, выбор методологии проектирования, а значит и самого CASE-средства, целиком ложится на пользователя и зависит от его понимания задачи, следовательно, будет влиять на полученный результат [18, 44];
- совместимость OMSAD (объектно-ориентированного метода системологического анализа и проектирования) с объектно-ориентированной методологией не используется для проведения анализа предметной области, в существующих CASE-средствах вообще нет эффективного аппарата анализа [17, 44, 45];
- не у всех CASE-средств реализовано «комплексное» решение задачи, как правило, для комплексного решения фирма-разработчик предлагает целый ряд программных продуктов ориентированных на решение того или иного этапа задачи, причем у некоторых продуктов плохо отлажены межпрограммные взаимосвязи [12];
- не все CASE-средства поддерживают весь жизненный цикл системы, как правило, ограничиваясь построением модели системы, дальнейшая работа с такой моделью и системой предусматривает целый ряд промежуточных этапов по преобразованию существующей модели в каркас системы и существующую систему в ее модель, причем такого рода преобразования не всегда проходят удачно [12, 22];
- не у всех CASE-средств есть средства поддержки проекта, как правило «достаточным» условием выступает графически представленная модель в выбранной нотации, и нет возможности ведения документирования проекта, нет возможности оснащения построенной модели дополнительной мультимедийной информацией [12], следовательно, нет в средствах поддержки работы дизайнера приложения (интерфейса);
- не у всех CASE-средств заложена возможность исследования модели в динамике. [42].

Таким образом, проведенный анализ показал на отсутствии в CASE-средствах эффективного аппарата анализа проблемной области, следовательно, невозможность обеспечения 100% адекватности построенной модели проблемной области, что влечет за собой ошибки в построении информационной системы.

В качестве такого аппарата анализа, выступающего как надстройка над любым CASE-средством, поддерживающим объектно-ориентированную методологию, предполагается использовать OMSAD, согласованный с процедурой объектно-ориентированного проектирования. Преимуществом данного метода является использование нормативной системы, представляющей собой формально-семантическую систему с адаптивным алфавитом, что позволяет формализовать процесс анализа и выделения исследуемых объектов, обеспечить объектно-ориентированную декомпозицию системы, представить систему с учетом иерархии объектов и классов. Так же к преимуществам следует отнести: независимость от предметной области, а следовательно переносимость и простота настройки на любую исследуемую предметную область, возможность проведения имитационного моделирования, возможность повторного использования наработанных решений [17, 41- 44].

В настоящее время проектируется CASE-инструментарий поддерживающий методологию OMSAD (UFO-toolkit), ориентированный на моделирование бизнес-процессов [46]. Для возможности моделирования программных систем необходима его дальнейшая ориентация на информационные процессы. Решение этого вопроса возможно путем модификации базовой иерархии классов (UFO-иерархии) методологии OMSAD [44, 45] для учета функциональных элементов программных систем.

Дальнейшие исследования будут направлены в первую очередь, на исследование и построение классификации информационных процессов, происходящих между различными элементами программных систем, представление их в виде «Узел-Функция-Объект». Так же в данном направлении изучается накопленный опыт в сфере проектирования программных систем: шаблоны проектирования, методологии проектирования и т.д. Полученные результаты будут использованы как в создаваемой классификации, так и при разработке CASE-средства.

**Список литературы:** 1. *Петров В.Н.* Информационные системы. СПб: Питер, 2002. 688 с. 2. *Бабенко Л. П., Лаврищева К. М.* Основы програмної інженерії. К.: Знання, 2001. 269 с. 3. *Брукс Дж. Гленн* Введение в компьютерные науки. М.: «Вильямс», 2001. 688 с. 4. *Одинцов И.О.* Профессиональное программирование. Системный подход. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 512 с. 5. *Буч Г.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++. М.: "Издательство Бином", СПб.: "Невский диалект", 1998 г. 560 с. 6. *Линаев В.В.* Проектирование программных средств. М.: Высш. шк., 1990. 303 с. 7. *Соммервилл П.* Инженерия программного обеспечения. М.: «Вильямс», 2002. 624 с. 8. *Fowler M.* The New Methodology // <http://www.martinfowler.com/articles/newMethodology.html>, 2000. 9. *Fowler M.* Is Design Dead? // <http://www.martinfowler.com/articles/designDead.html>, 2000. 10. *Лямец В.И., Тевяшев А.Д.* Системный анализ. Харків: ХТУРГ, 1998. 252 с. 11. *Касьянов Г.Н.* Консалтинг при автоматизации предприятий: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М.: СИНТЕГ, 1997. 316 с. 12. *Вендров А.М.* Проектирование программного обеспечения экономических организационных систем. М: Финансы и Статистика, 2000. 352 с. 13. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем: Учеб. Для вузов по спец. «Автоматизирующие системы обработки информации и управления». М.: Высшая школа, 1998. 319 с. 14. *Крэг Л.* Применение UML и шаблонов проектирования. М.: «Вильямс», 2001. 496 с. 15. *Dennis A., Wixom V. H., Tesarden D.* System Analysis and Design: An object orient approach with UML. N.Y.: Wiley, - 2000. 544p. 16. *Ігнатенко П.П., Бистров В.М., Зяець І.О., Ігнатенко А.П.* Підхід до забезпечення ре інжинірингу обектно-орієнтованих програмних систем // Проблеми програмування. 2002. №1-2. С. 98-109 17 *Маторин С.И.* О новом научном направлении системологического анализа сложных динамических объектов // Вестник ХГПУ. Новые решения в современных технологиях. 2000. №81. С.15-18. 18. *Бондаренко М.Ф., Маторин С.И., Соловьева Е.А.* Особенности теории и практики решения сложных проблем на основе онтологий // Искусственный интеллект. 2000. №3 С25-33 19. *Бен-ари М.* Языки программирования. Практический сравнительный анализ. М.: Мир, 2000. 366 с. 20. *Кантор М.* Управление программными проектами. Практическое руководство по разработке успешного программного обеспечения. М.: «Вильямс», 2002. 176 с. 21. *Емельянов А.А. и др.* Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с. 22. *Довгаль С.И., Сбитнев А.И.* Персональные ЭВМ: Турбо Паскаль V.7.0, Объектное программирование. Киев: «Довгаль», 1995. 320 с. 23. *Хармон Э.* Разработка COM-приложений в среде Delphi. М.: «Вильямс», 2000. 464 с. 24. *Microsoft Corporation* Разработка приложений на Visual C++ 6.0. М: Издательско-торговый дом «Русская Редакция», 2000. 567 стр. 25. [www.rational.com](http://www.rational.com) 26. *Microsoft Corp.* Microsoft Solutions Framework Overview White Paper // [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com). 1999. 27. *Рожнов А.М.* Про можливість –підходу до проектування архітектур застосувать // Проблеми програмування. 2002. №1-2. С. 121-127 28. *Дж. Мартин* Планирование развития автоматизированных систем. М.: Финансы и статистика, 1984. 196 с. 29. *Астелс Д., Миллер Г., Новак М.* Практическое руководство по эк-

УДК 681.3:519.76

Ю. Ю. ЧЕРЕПАНОВА

**ТЕСТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗНАТЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕЗАУРУСА  
СЕМАНТИЧНИХ ПОЛІВ**

Ефективність будь-якої системи освіти багато в чому визначається якістю засобів контролю знань. Цей контроль потрібен як при попередньому тестуванні для визначення початкового рівня знань, так і після проходження курсу навчання для контролю засвоєння матеріалу. Це стосується і автоматизованих навчальних систем, і самоосвіти, і традиційної освіти, заснованої на взаємодії «вчителя» та «учня». У зв'язку зі зростанням ролі дистанційного навчання задача підвищення ефективності й інтелектуальності засобів аналізу відповідей стала особливо актуальною. Зокрема, особливостями дистанційної освіти пояснюються нові вимоги до систем контролю.

По-перше, діалог між системою і тим, кого навчають, повинний йти на мові, максимально наближеної до природної. Людство виражає свої знання вербально. Яке б не було внутрішнє подання знань, але про нього завжди можна розповісти. Зберігаються знання та передаються наступним поколінням також у вигляді письмових текстів. Тому можна говорити, що найбільш ефективним контроль знань буде тоді, коли діалог між системою і тим, кого навчають, буде здійснюватися на природній мові.

По-друге, поряд із тестуванням практичних знань, предметом такого діалогу повинна бути «теорія» – ті знання, що виражаються на природній мові та являють собою головні поняття, концепції, закони тієї галузі знань, що вивчалася і по якій відбувається тестування.

По-третє, у зв'язку з високою швидкістю відновлення знань, система контролю повинна бути спроможна до «навчання» – адаптації до нових знань, тобто повинні бути удосконалені функції, що полегшують її наповнення.

У даній роботі ми розглянемо деякі аспекти проблеми підвищення ефективності тестування теоретичних знань.

**Методи тестування теоретичних знань**

Розглянемо існуючі методи тестування теоретичних знань у тому значенні, яке було наведено вище.

Найпростішим у реалізації та найбільш вживаним є метод тестування з використанням вибіркового відповідей [1-3]. Учню дається питання та альтернативи відповідей, із котрих необхідно вибрати один або декілька правильних. Перевагами даного методу є те, що він має високу реактивність, дозволяє економити пам'ять і працевитрати з боку автора навчального курсу. Проте цей метод має і недоліки. Велика ймовірність просто випадкового вибору правильного варіанта. Тобто, тестування зводиться до вгадування, інтуїтивного визначення правильної відповіді. Крім того, навіть людина, що свідомо вибрала вірну відповідь, не завжди правильно сформулює потрібне теоретичне положення. А тим часом, найбільш цінними та усвідомленими є ті знання, які людина може вербалізувати. І мова йде не про те, щоб напам'ять відтворити потрібний уривок із книги, а зуміти викласти головні положення теорії у довільній формі, не обов'язково в «книжковому» варіанті викладу.

Ця вільна форма викладу є обмеженням для застосування іншого методу аналізу відповідей, коли для кожного запитання в систему закладаються всі можливі шаблони відповіді на предметно-обмеженій природній мові, і вірність отриманої відповіді – визначається наявністю її в списку вірних шаблонів [1-3]. Недоліком такого підходу є те, що кількість можливих конструкцій навіть на обмеженій природній мові дуже велика і важко їх усі передбачити, тому велика ймовірність завдання неповного списку правильних шаблонів. Крім того, навіть повне перечислення всіх можливих варіантів відповіді не виправдано збільшує витрати ресурсів – пам'яті комп'ютера та часу автора. Щоб увести в систему контролю знань запитання, розробник програми (або експерт, що її наповнює) повинен перелічити всі можливі відповіді на нього, і таких же дій потребує кожне наступне запитання.

Не завжди дає повну картину оцінки знань і правильне виконання завдань з обмеженнями на відповідь, коли діалог відбувається на природній мові, але для відповіді потрібно ввести строго обмежені слова [1-3]. До цього виду відповідей відносять такі, що являють собою лише заповнення деяких пропущених параметрів у наданому системою готовому тексті відповіді. Іншим прикладом використання відповідей з обмеженнями є однослівні відповіді, наприклад, коли в питанні подається формулювання визначення і для відповіді необхідно привести термін. Такі методи в більшому ступені перевіряють асоціативну пам'ять, а не знання по темі запитання. Те, що людина за визначенням терміна або опису явища наведе правильний термін або назву явища, не завжди означає протилежне.

тремальному програмуванню. М.: «Вільямс», 2002. 320 с. 30. Інформаційні технології процеси життєвого циклу програмного забезпечення ДСТУ3918-1999 (iso/іec 12207:1995) Держстандарт України, 2000. 31. *Грищенко В.Н., Лаврищева Е.М.* Компонентно-орієнтоване програмування. Состояние, направления и перспективы развития // Проблемы программирования. 2002. №1-2. С. 80-91. 32. *Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж.* Примеры объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб: Питер, 2001. 368 с. 33. *Шаллоуей А., Тротт Джеймс. Р.* Шаблоны проектирования. Новый подход к объектно-ориентированному анализу и проектированию. М.: «Вильямс», 2002. 288 с. 34. *Слама Д., Гарбис Д., Рассел П.* Корпоративные системы на основе CORBA. М.: «Вильямс», 2000. 368 с. 35. *Хоменко В.А.* Использование метрик для повышения эффективности повторного использования программного обеспечения // Проблемы программирования. 2002. №1-2. С. 131-136 36. *Neutoin V.* Software requirements traceability in reengineering perspective // Проблемы программирования. 2002. №1-2. С. 91-98 37. *Сахаров П.* Rational Rose, BPwin и другие – аспект анализа бизнес-процессов. // Журнал “Директору информационной службы”. <http://atlant.osp.ru/cio/2000/11/014.htm>. № 11. 2000. 38. *Новичков А.Н* Rational Rose для разработчиков и ради разработчиков.// [www.interface.ru](http://www.interface.ru), 2000. 39. *Кауфман В. Ш.* Языки программирования. Концепции и принципы. - М.: Радио и связь, 1993. 432 с. 40. *Брукс Ф.* Мифический человек-месяц или как создаются программные системы. М.: Издательство: Символ-Плюс. 2000. 306 с. 41. *Йордон Э.* Путь камикадзе. Как разработчику программного обеспечения выжить в безнадежном проекте М.: Лори: Символ-Плюс. 2001. 264 с. 42. *Маторин С.И.* Определение и системологическое обоснование базовой иерархии классов для создания нормативной системы объектно-ориентированной системы объектно-ориентированного анализа и проектирования // Вестник ХГПУ. Новые решения в современных технологиях. 2000. №79. С. 22-25. 43. *Маторин С.И.* Развитие системологической теории и ее применение в UFO-технологии // Проблемы бионики. 2001. №55. С.33-42. 44. *Маторин С.И.* О новом методе системологического анализа, согласованном с процедурой объектно-ориентированного проектирования. Часть 1 // Кибернетика и системный анализ. 2001. №1. С. 120-134. 45. *Маторин С.И.* О новом методе системологического анализа, согласованном с процедурой объектно-ориентированного проектирования. Часть 2 // Кибернетика и системный анализ. 2002. №1. С.118-130 46. *Маторин В.С., Маторин С.И., Полулин Р.А., Попов А.С.* Знание-ориентированный CASE-инструментарий автоматизации UFO-анализа // Проблемы программирования. 2002. №1-2. С. 469-476.

Поступила в редколлегию 26.09.2002.

Найбільше поширення в системах контролю знань знаходить універсальний та простий метод аналізу за ключовими словами [1,2], коли в еталоні відповіді на запитання вказуються слова і синоніми, що повинні бути присутні у відповіді. Частіше всього при цьому не враховується порядок слів. Даний метод має високу реактивність і простоту реалізації, але не дозволяє розпізнавати зміст тексту. Крім того, виникає та ж проблема перелічення всіх слів, що можуть входити в правильні конструкції відповіді. При надмірному обмеженні природної мови (недостатній кількості варіантів) можливе неадекватне оцінювання правильної відповіді, а при надлишковій кількості варіантів через велике число ключових слів велика ймовірність визнання помилкової конструкції мови за правильну.

Таким чином, для більш адекватного оцінювання знань виникає необхідність у створенні нових методів тестування знання теоретичного матеріалу, які б мали високу реактивність, були прості у реалізації та вимагали мінімальних працевитрат з боку автора навчального курсу. Найкращим методом представляється спосіб тестування, при якому здійснюється аналіз сенсу природно-мовної відповіді учня та теорії, з метою встановлення ступеня її адекватності. При цьому мінімальними працевитрати автора будуть у тому випадку, коли теорія буде подана в навчальній системі у вигляді природно-мовних текстів або моделі, яку можливо побудувати за такими текстами із найбільш повною автоматизацією. Таким чином, виникає необхідність у механізмі побудови сутнісної моделі за природно-мовним текстом. В даний час ще не існує повного вирішення даної задачі, але навіть часткове рішення має реальний практичний інтерес.

### Побудова моделей тексту

Одним із можливих рішень поставленої задачі може стати включення до складу систем контролю знань тезауруса семантичних полів [4] і використання його при тестуванні для автоматизованої побудови концептуальної моделі тексту відповіді на природній мові. Результат тестування при цьому визначається на основі порівняння побудованої моделі з концептуальними моделями предметної галузі або еталона відповіді. Еталонна модель також може бути отримана за неформалізованим природно-мовним текстом всього курсу або за текстом однієї найбільш повної правильної відповіді на конкретне запитання. Таким чином, перевагою такого підходу є те, що еталонна модель може бути побудована автоматично, як і модель відповіді, що зменшить працевитрати автора. Експерту з даної предметної галузі не обов'язково розбиратися в методах побудови моделі, та не треба перелічувати усі варіанти відповідей, досить дати одну розширену відповідь на природній мові. Декілька еталонних відповідей може знадобитися ввести в тому випадку, якщо відповіді на запитання можуть бути різними з концептуальної точки зору. Така ситуація може виникнути в тому випадку, наприклад, якщо виконується перевірка знання поняття, що має декілька вірних тлумачень, які можуть використовуватися в суміжних галузях знань.

Можна запропонувати декілька варіантів побудови концептуальних моделей за текстом відповіді, побудованих із застосуванням тезауруса семантичних полів. У таблиці 1 розглянуто методи побудови та аналізу відповідності даних моделей.

Роз'яснимо деякі операції, що використовуються при побудові запропонованих моделей.

Семантичний обсяг поняття являє собою набір семантичних множників, що відповідають змісту цього поняття [5]. Поняття може бути подане як словом, так і словосполученням. У літературі зустрічаються різноманітні способи виділення семантичних множників у значеннях слів, проте ряд дослідників схильється до аналізу дефініцій слів [6-8]. При аналізі дефініцій для побудови семантичних обсягів слова виникає декілька шляхів:

1. Виділення в якості семантичних множників слів дефініції.
2. Виділення в якості множників лексичних обертів (не слів, а словосполучень і більш великих конструкцій, що мають більш конкретний, вузький зміст).
3. Розрізнення у дефініції семантичних компонентів, що грають різні ролі.

Запропонований метод є комбінацією перших двох підходів. Семантичний обсяг будується по дефініціях понять, у якості елементів змісту (але не найпростіших, тому що здебільшого ці одиниці можуть мати свої дефініції і, відповідно, семантичний обсяг) використовуються семантичні множники, що відповідають словам дефініцій (елемент першого підходу). Проте на наступному кроці компонентного аналізу для стійких словосполучень, що внесені в словник термінів і мають своє визначення, у якості аналізованої варто взяти дефініцію словосполучення, а не дефініції слів, що входять до неї (що частково відповідає другому підходові).

Найменування методу	Побудова моделі	Аналіз відповідності моделей
Метод множини	За текстом будується семантичний обсяг	Знаходиться перетинання семантичних обсягів відповіді та еталона, при наявності в семантичному обсязі відповіді більш 50% семантичних множників, що входять у семантичний обсяг еталона, відповідь вважається задовільною.
Метод лінійної множини	За текстом будується семантичний обсяг із приписуванням семантичним множникам черговості слова в тексті.	Розраховується коефіцієнт кореляції, що враховує, крім наявності в семантичних обсягах семантичних множників, і порядок слів.
Метод підстановки	Для кожного слова відповіді знаходиться кореляційний заміник (який потрапляє в те ж парадигматичне семантичне поле) серед слів еталона, або навпаки.	Вводяться рівні відповідності моделей – якщо знайдені а) всі замітники; б) більш 50% заміників; в) всі замітники, що мають низьку частоту і високу значимість у даній предметній галузі, – то відповідь вірна на певному рівні.
Метод підстановки з урахуванням типу зв'язку в реченні	При побудові моделі для кожного замітника вказується тип зв'язку з іншими словами у відповіді та еталоні (наприклад, відстань між словами).	Для аналізу вводиться кореляційний коефіцієнт, що враховує, крім перевірки наявності замітника, і збіг (або включення по «менше») зв'язку між словами.

Другою операцією, що потребує пояснення, є виділення семантичних множників. Існують різні шляхи кодування лексичних одиниць, і кожний із них має свої переваги та певні недоліки (більш докладний огляд наведено у [6, 9]). До алгоритму кодування можна пред'явити такі вимоги, виходячи з цілей його застосування:

- можливість найбільш повної автоматизації;
- створення обмеженого числа множників;
- забезпечення мінімального рівня омонімії (перетворення семантично різних слів в один код)

і синонімії кодів (коли семантично близькі слова та навіть різні словоформи одного слова перетворюються в різні коди).

Цим вимогам найбільш відповідає метод, заснований на статистичній закономірності, згідно з яким найбільшою інформативністю в слові володіють приголосні. Цей шлях припускає згортання лексичних одиниць, одержання так названих згорток з одних приголосних, при цьому голосні першого складу, як правило, зберігаються. Варіант алгоритму такого методу, що описаний у [9], забезпечує ефективне згортання іменників та прикметників із досить низьким рівнем синонімії й омонімії згорток, прозорий і легкий у застосуванні, проте має деякі недоліки, що не дозволяють прямо його використовувати.

При модифікації наданого алгоритму (збільшення числа кінцевих приголосних, що відсікаються, додавання можливості кодування різноманітних дієслівних форм) забезпечується задовільний рівень автоматизації (на досліджуваному масиві словоформ нерозв'язна омонімія і синонімія кодів складала  $\approx 1,5\%$ ).

### Структура тезауруса

Говорячи про тезаурус семантичних полів, ми не маємо на увазі ті фіксовані дескрипторні тезауруси, що застосовуються в інформаційно-пошукових системах або в системах автоматичного індексування. Для можливості використання тезауруса семантичних полів у системі контролю знань повинні виконуватися такі вимоги:

- тезаурус семантичних полів повинен містити інформацію, необхідну для побудови концептуальних моделей тексту;

– для виконання вимоги спрощення наповнення системи контролю знань повинні існувати методи автоматизованої побудови тезауруса.

Для реалізації запропонованих методів перевірки правильності відповідей, тезаурус семантичних полів повинний містити інформацію про такі об'єкти та відношення:

1. Об'єкти:

– перелік слів, що подає собою словник тезауруса (СТ);

– словоформи, які відповідають цим словам, що зустрічаються в оброблених текстах – словник словоформ (СлТ);

– визначення слів, що входять у СТ у текстовому вигляді (О);

– перелік семантичних множників – словник множників тезауруса;

– словник усталених термінів (СТТ);

2. Відношення:

– зв'язки між СТ та СлТ, що показують, які словоформи певного слова з'явилися в оброблених текстах (відношення «слово-словоформа» – ОССл) – словник слововживань;

– зв'язки між відношеннями ОССл, які показують наявність синтагматичного зв'язку між словами у певних формах, що зустрілися в текстах (відношення ОСС) – словник синтагматичних посилань;

– зв'язок між СТ (або СТТ) та О, що показує наявність дефініції слова (або терміна), заповнюється з тлумачних та термінологічних словників – словник дефініцій.

При такій організації тезауруса, синтагматичні зв'язки фіксуються в словнику, а зв'язки між словами та кодами, та парадигматичні зв'язки між словами можуть бути отримані алгоритмічно, тому недоцільно зберігати їх у тезаурусі постійно. Процедурний засіб подання цих зв'язків (тобто шляхом виконання якогось алгоритму на відміну від декларативного засобу, при якому інформація про ці зв'язки просто зберігається) має за перевагу можливість модифікації критеріїв виділення таких зв'язків у залежності від мети їх одержання (наприклад, зміна частотних критеріїв при одержанні парадигматичного поля, зміна рівня компонентного аналізу при побудові семантичного обсягу). Це робить тезаурус більш універсальним, розширюючи сферу його застосування.

Запропонована схема тезауруса дозволяє вносити в нього будь-які типи синтагматичних зв'язків, диференціюючи їх. Відповідно, у залежності від цілей застосування тезауруса, можна вибирати різні їх типи. Різні дослідники розрізняли різні види семантичних зв'язків [10, 11], проте дана структура тезауруса дозволяє зберігати й одержувати всі основні типи синтагматичних зв'язків. Для вилучення синтагматичних зв'язків можна використовувати дистрибутивний та статистичний аналізи текстів обраної тематики [11].

Для визначення використаного в тексті значення полісемантичного слова можна застосовувати аналіз семантичних обсягів значень слів контексту. Специфічним для правильних значень слів, що дають оптимальне осмислення речення, є наявність спільних семантичних множників [12]. Це значить, що використовуване значення полісемантичного слова може визначатися за максимальною повторювальністю семантичних множників у межах речення.

Наведені методи дозволяють виконати автоматизовану побудову тезауруса семантичних полів, використовуючи інформацію тлумачних і термінологічних словників та природномовні тексти обраної предметної галузі [11].

Розроблена структура тезауруса дозволить здійснити тестування не тільки запропонованим методом (побудовою й аналізом концептуальних моделей тексту), але і застосувати метод аналізу вірності відповіді за ключовими словами, підвищити його ефективність за рахунок автоматизованої побудови списку ключових слів. При цьому в якості ключових слів можуть бути використані парадигматичні поля слів, що входять в еталон відповіді. Парадигматичне поле слова можна в явному виді в тезаурусі не зберігати, а при необхідності одержувати на основі порівняння семантичних обсягів по наявності у слів спільних множників. Поле слова може бути отримано як за всім його семантичним обсягом (абсолютні синоніми), так і за окремими семантичними множниками (лексико-семантичні групи), і за їх сукупностями (синонімічні та тематичні ряди). Для підвищення значимості семантичного зв'язку в полі можна використовувати критерій частотності семантичного множника. Оскільки більш значимі множники будуть мати більш низьку частоту появи, ніж множники широкої семантики, отже, може бути встановлена найбільша частота множника, використовуваного для включення слова в поле. У такий спосіб може регулюватися ширина парадигматичного поля і розмір списку ключових слів, який може бути використано для градації вірності відповіді.

**Список літератури:** 1. Романов А. Н., Торопцов В. С., Григорович Д. Б. Технология дистанционного обучения в системе заочного экономического образования. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. 303 с. 2. Автоматизированные обучающие системы на базе ЭВМ / А. Ф. Чернявский, А. М. Мухарский, А. В. Орлов и др. / Под ред. А. Ф. Чернявского. Мн.: Изд-во БГУ, 1980. 176 с. 3. Бухараев Р. Г., Сулейманов Д. Ш. Семантический анализ в вопросно-ответных системах. Казань: Изд-во КГУ, 1990. 123 с. 4. Павлов П. Ф., Черепанова Ю. Ю., Шубин И. Ю. О возможности построения тезауруса семантических полей и его применения в информационных системах // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць. Вип. 108. Харьков: ХДПУ, 2000. С. 41-46. 5. Черепанова Ю.Ю. О теоретико-множественном и теоретико-категорном подходах к моделированию семантических полей // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2001. Вып 54. С.75-78. 6. Караулов Ю. Н. Лингвистическое конструирование и тезаурус литературного языка. М.: Наука, 1981. 367 с. 7. Скороходько Э. Ф. Семантические сети и автоматическая обработка текста. К.: Наукова думка, 1983. 284 с. 8. Арнольд И. В. Основы научных исследований в лингвистике: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1991. 140 с. 9. Захаров В. П., Мордовченко П. Г., Сахарный Л. В. Совершенствование лингвистического обеспечения в ИПС «бестезаурусного» типа // НТИ. Сер. 2. 1980. – №6. С.14-17. 10. Полевые структуры в системе языка / З. Д. Попова, И. А. Стернин, Е. И. Беляева и др. / Науч.ред. З. Д. Попова. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 196 с. 11. Павлов П.Ф., Бабина О.И., Черепанова Ю.Ю. О проблеме автоматизированного выявления семантических полей. // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць. Вип. 42. Харьков: ХДПУ, 1999. С.81-85. 12. Апресян Ю. Д. Избранные труды. Том 1. Лексическая семантика. М.: Восточная литература, 1995. 472 с.

*Поступила в редколлегию 12.04.2002.*

УДК 658.012.011.56

*М. В. ЕВЛАНОВ, А. Я. СКЛЯРОВ, С. В. ШТАНГЕЙ***ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ, ПРИОБРЕТЕННЫХ В ХОДЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

В настоящее время все большее значение в системе образования Украины приобретает дистанционное обучение (ДО). Под этим термином понимают такую организацию учебного процесса, при которой преподаватель разрабатывает программу самостоятельного обучения и контроля приобретенных знаний обучаемого человека или группы людей. ДО характеризуется удаленностью обучаемого от преподавателя в пространстве или во времени. В то же время, ДО предполагает возможность осуществления диалога между обучаемым (студентом) и преподавателем с помощью коммуникационных средств различной природы (письма, электронная почта, средства Internet).

Исходя из этих особенностей, в работах [1-3] были определены следующие методы, используемые в рамках ДО. Предварительный контроль предназначен для выяснения уровня подготовки студента и построения индивидуального курса ДО. Самоконтроль (тренажеры, тренировки или тренинг) используется для самостоятельной проверки точности усвоения предъявленного материала. Текущий контроль предназначен для выработки дальнейших действий студентов, подбора индивидуального темпа обучения, выявления «пробелов» в знаниях для дальнейшего их устранения. Кроме этого данный вид контроля способствует дисциплинированности при работе с обучающими системами. Рубежный контроль предусмотрен для проверки усвоения конкретного этапа.

Однако традиционные методы контроля знаний (ответы обучаемого на вопросы экзаменационного билета) не пригодны для ДО, поскольку являются расточительными по времени и не могут полностью охватить весь курс обучения. Кроме того, такие методы носят выборочный характер и поэтому не могут дать полной картины действительного уровня знаний студента. Данные методы подвержены также воздействию субъективных факторов, негативно влияющих на точность при измерении знаний. Следовательно, необходимы способы объективной оценки результатов обучения, не требующие больших затрат времени. Среди этих способов довольно значительное место занимают автоматизированные способы проверки способностей и знаний, в частности – автоматизированное тестирование. Автоматизированное тестирование позволяет решить ряд указанных выше проблем. Кроме того, оно имеет ряд преимуществ, таких как: надежность, высокая дифференцирующая способность, экономичность и оперативность при его проведении, что особенно важно в ДО. Также при этом экономится время для эффективного обучения.

Автоматизированный контроль знаний в учебном процессе может выполнять следующие функции:

- индикации, то есть определения понимания (или непонимания) структуры учебной информации;
- диагностики, или установления уровня усвоения студентом отдельных тем и разделов учебных дисциплин;
- оценки, а именно, определения степени соответствия системы приобретенных знаний задачам, условиям и характеру будущей профессиональной деятельности студента.

Но наряду с достоинствами, такой подход имеет ряд существенных недостатков. Системы автоматизированного тестирования требуют больших финансовых затрат особенно на этапе разработки. Для создания тестов требуются привлечение следующих специалистов:

- авторов тестовых заданий;
- независимых экспертов, осуществляющих экспертизу этих заданий;
- программистов и операторов компьютеров, отвечающих за разработку или эксплуатацию программных средств по сбору и анализу тестовых данных.

Серьезной проблемой является большая трудоёмкость на этапе создания тестов. Данную проблему пытаются решить с помощью автоматизированных систем, осуществляющих генерацию контрольных заданий при тестировании.

Весьма серьезной остается проблема оценивания знаний в автоматизированных системах тестирования. При тестировании в наиболее распространенных рейтинговых системах обычно используется суммарная оценка. Вследствие этого при уходе от пятибалльной системы происходит изменение и подхода к оцениванию, он становится количественным, а не качественным.

Основываясь на изложенном выше материале, становится ясно, что совершенствование современных методов ДО и соответствующих средств контроля знаний невозможно без серьезной комплексной автоматизации процесса обучения и контроля знаний обучаемого. При этом к автоматизации данных процессов выдвигаются следующие требования:

- минимизация временных затрат на подготовку материалов занятий и контроля знаний студента;
- минимизация финансовых затрат на реализацию и эксплуатацию автоматизированных систем ДО и контроля знаний студента;
- минимизация влияния внешних воздействий на процесс контроля знаний (в том числе субъективных факторов), искажающих качество выполнения данного процесса;
- определение главной цели автоматизации ДО и контроля знаний как правильной семантической формулировки ответа при возможных синтаксических и понятийных разночтениях.

В связи с этими требованиями возникает необходимость в выработке комплекса математических моделей (КММ) курса ДО и методов контроля знаний, полученных в ходе освоения данного курса. При этом, к разрабатываемому КММ выдвигаются следующие требования:

- данный КММ должен быть сравнительно прост в реализации;
- данный КММ должен описывать не просто отдельный курс ДО, а единую целостную систему знаний, которую обучаемый получает в ходе освоения данного курса;
- данный КММ должен однозначно определять подавляющее большинство вопросов, которые могут быть заданы студенту в ходе самостоятельного, текущего, рубежного и итогового контроля знаний;
- данный КММ должен позволять не только оценивать ответы обучаемого на вопросы, непосредственно связанные с изложенными в курсе ДО знаниями, но и оценивать ответы обучаемого на вопросы, определяющие способность обучаемого творчески использовать полученные знания в ходе решения теоретических и практических задач.

При разработке данного КММ был выдвинут следующий ряд предположений.

Предполагается, что в процессе ДО студент получает определенную логикой курса последовательность материалов для обучения (лекций), связанных в единый курс неким заранее определенным образом. При этом с учетом сложившейся практики подготовки и организации материалов для ДО становится возможным выделение трех основных типов лекций, а именно:

- понятийные лекции (занятия, посвященные определению некоторой совокупности понятий и терминов);
- технологические лекции (занятия, посвященные определению некоторой совокупности действий, приводящих к оговоренным результатам);
- смешанные лекции (занятия, комбинирующие в себе понятийные и технологические лекции).

Стоит отметить, что в чистом виде понятийные и технологические лекции встречаются сравнительно редко, поскольку для обеспечения связности излагаемого материала необходимо сочетать в определенной пропорции и понятия, и действия. Поэтому к понятийным лекциям следует относить такие лекции, в которых количество определяемых понятий значительно превышает количество определяемых действий. Аналогичным образом выделяются и технологические лекции.

Таким образом, семантическая модель лекции может быть представлена как совокупность понятий и/или действий, которые могут быть связаны определенным образом. Варианты возможных связей показаны на рис. 1.

Предлагаемая классификация связей позволяет выделить два действия, которые являются общими для связи отдельных понятий – индукцию и дедукцию. Под индукцией понимается формирование нового понятия  $D'$  как результата композиции ранее определенных понятий  $D_0, \dots, D_i, \dots, D_k$ . Под дедукцией понимается формирование совокупности новых понятий как результат декомпозиции ранее определенного понятия  $D_i$  по некоторым критериям на совокупность новых понятий  $D_i^0, \dots, D_i^m$ . Индукция и дедукция являются субъективными связями, возникающими либо в силу выявленных закономерностей, либо в силу принимаемого критерия декомпозиции. Так, одно и то же понятие «система» может быть декомпозировано как на понятия «статическая система» и «динамическая система», так и на понятия «открытая система» и «закрытая система». С другой стороны, понятия «модуль управления персоналом», «бухгалтерский модуль», «модуль управления за-

пасами» и т.д. могут быть объединены в понятия «информационно-справочная система предприятия», «информационно-советующая система предприятия», либо «информационно-управляющая система предприятия». Поэтому определение варианта постоянной связи между двумя или более понятиями (например,  $D_k$  и  $D_n$ ) возможно только при определении действия  $F_{D_n}^{D_k}$ , имеющего конкретные варианты описания.

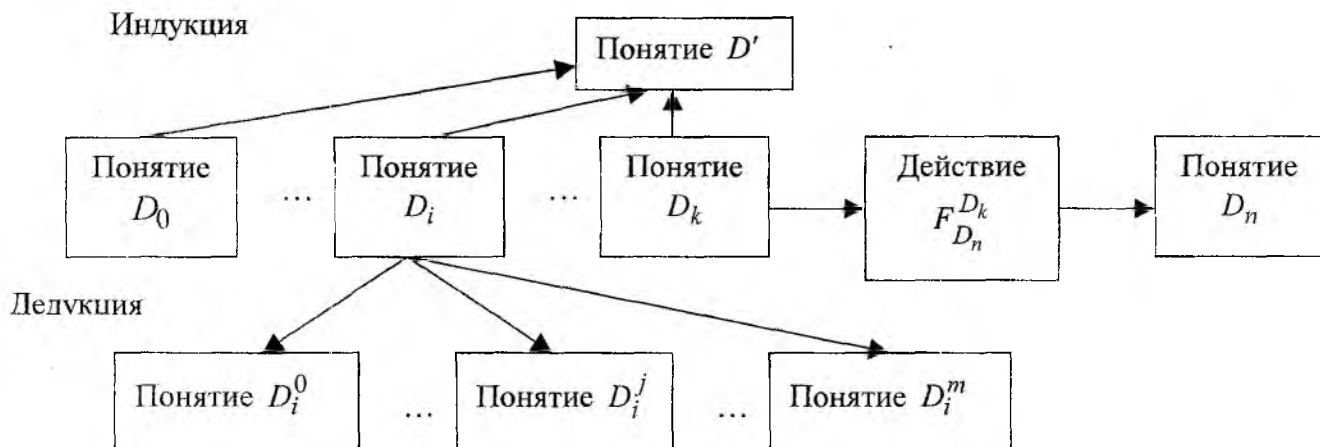


Рис. 1 – Схема типовых вариантов связей между понятиями и/или действиями лекции

Данный подход позволяет определить совокупность понятий и/или действий, которые для данной лекции (группы лекций, курса ДО) не могут быть выражены с помощью других понятий и/или действий, встречающихся в тексте лекции (группы лекций, курса ДО). Такие понятия (действия) будем называть исходными понятиями (действиями). Все остальные понятия (действия) можно рассматривать как некоторую комбинацию исходных понятий (действий). Исходя из этого, семантически лекцию можно определить как некоторую фигуру, определенную на евклидовом информационном пространстве (пространстве понятий и/или действий), размерность которого, в свою очередь, определяется на основе множества исходных понятий (действий)  $M(D_0, \dots, D_n)$ .

Предположим, что семантически некоторый фрагмент  $Fr(L)$  лекции (группы лекций, курса ДО)  $L$ , определенной на информационном пространстве размерностью  $n$ , состоит из некоторых исходных понятий  $D_0, \dots, D_i, \dots, D_k$ . Таким образом, любая точка  $x$  пространства данного фрагмента определяется симплексом [4] вида

$$x_{Fr(L)} = (\lambda^0 D_0 + \dots + \lambda^i D_i + \dots + \lambda^k D_k), \quad (1)$$

где  $\lambda^0, \dots, \lambda^k$  - действительные числа, удовлетворяющие условиям

$$\lambda^0 + \dots + \lambda^i + \dots + \lambda^k = 1, \quad (2)$$

$$\lambda^i \geq 0, i = 0, \dots, k \quad (3)$$

С целью обеспечения согласованности лекций и избежания повторов материала предположим, что два фрагмента лекции либо не пересекаются семантически, либо семантическая область их пересечения может быть определена через множество исходных понятий (действий), которое принадлежит как множеству исходных понятий (действий) первого фрагмента, так и множеству исходных понятий (действий) второго фрагмента.

Таким образом, семантическую модель лекции (группу лекций, курс ДО) можно представить как полиэдр  $|L|$ , который описан комплексом  $L$  – конечной совокупностью симплексов, задающих семантические модели отдельных смысловых фрагментов  $Fr(L)$ .

Применение данного подхода к формализованному описанию лекций ДО заставляет уделить особое внимание числам  $\lambda^0, \dots, \lambda^k$ . Дело в том, что эти числа, являющиеся барицентрическими координатами любой точки пространства фрагмента лекции, одновременно определяют степень использования соответствующего исходного понятия (действия) для описания остальных понятий, определений или описаний данного фрагмента. Таким образом, информационное пространство некоторого исходного понятия  $D_i$ , состоящее из некоторой совокупности слов и словесных конструкций, может быть описано как некая область. Границы этой области определены набором слов и словесных конструкций, для которых число  $\lambda^i = 0$ . При этом становится возможной числовая градация текстовых описаний исходного понятия с учетом степени достоверности, которая определяется величиной числа  $\lambda^i$ . Учитывая, что для изложения курса ДО может использоваться частично совпадающий набор слов и словесных конструкций языка, любой курс ДО может быть описан как композиция семантической модели курса (комплекса  $L$ ), представленной матрицей исходных понятий, и базы слов и словесных конструкций (тезауруса). Значения строк матрицы исходных понятий определяются симплексами отдельных смысловых фрагментов лекций и фиксируют множества исходных понятий  $M(D_0, \dots, D_n)$ , определяющие конкретный симплекс. Столбцы матрицы исходных понятий соответствуют конкретным исходным понятиям. Таким образом, каждый элемент матрицы исходных понятий отражает присутствие конкретного исходного понятия в семантической модели конкретного фрагмента лекции (группы лекций, курса ДО).

Необходимо отметить, что такая организация представления лекций и курсов ДО требует больших затрат на хранение словарного запаса лишь при генерации отдельных фрагментов лекций или отдельных лекций. С увеличением числа лекций (групп лекций, курсов ДО), скорость роста объема тезауруса снижается, поскольку для описания различных понятий используются одни и те же слова и словесные конструкции. Поэтому выгоднее объединять курсы ДО в рамках общего направления с единым тезаурусом.

Такой подход к моделированию и организации лекций позволяет взглянуть на проблему контроля знаний с новой точки зрения. Предлагаемая топологическая модель лекции (группы лекций, курса ДО) позволяет рассматривать методы контроля знаний студента как реализацию равенства (1). При этом могут рассматриваться следующие комбинации:

- одно значение левой части равенства (1) и одно значение правой части равенства (1) (вариант контроля знаний, который требует от студента определения истинности некоторого утверждения);
- одно значение левой части равенства (1) и несколько значений правой части равенства (1), либо несколько значений левой части равенства (1) и одно значение правой части равенства (1) (вариант контроля знаний, который требует от студента определения одного правильного варианта определения заданного понятия (действия) из нескольких, либо указания правильного понятия (действия) из нескольких на основе заданного определения понятия (действия));
- одно значение левой части равенства (1), либо одно значение правой части равенства (1) (вариант контроля знаний, который требует от студента ответа на вопрос типа «Дайте определение понятию (действию)» или «Назовите понятие (действие)»).

Усложнение или упрощение вариантов контроля знаний, предлагаемых студенту, происходит за счет изменения значений чисел  $\lambda^0, \dots, \lambda^k$ , используемых для формирования частей равенства (1). Такой способ, хотя и требует дополнительных математических исследований, позволяет использовать числа  $\lambda^0, \dots, \lambda^k$  как аналог меры оценки уровня знаний студента. Предполагается, что чем ближе числа  $\lambda^0, \dots, \lambda^k$  к нулю, то тем ценнее правильный ответ студента, поскольку он может оперировать не только точными определениями понятия (действия), но и способен распознать понятие (действие) по его приблизительному или неполному описанию.

Предлагаемый топологический подход к формированию методов контроля знаний позволяет поставить вопрос о возможности автоматизированной генерации пакета для контроля знаний каждого отдельного студента. При этом становится возможным получение ответов на следующие вопросы:

- какой оценки заслуживает студент (вопросы разделяются на три класса – «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»);

- с какого промежутка курса студент перестал усваивать излагаемый материал;

- может ли студент перейти определенный преподавателем рубеж изучения курса ДО.

Таким образом, предлагаемый в статье комплекс математических моделей курса ДО и методов контроля знаний позволяет поставить вопрос об автоматизации проведения самостоятельного, текущего, рубежного и, частично, итогового контроля знаний в индивидуальном порядке по всему объему знаний курса ДО.

**Список литературы:** 1. Харьковский З.С. Вопросы теории и практики разработки обучающих программ. М.: Знание, 1975. 32 с. 2. Методика и организация учебного процесса с использованием контролирующих и обучающих устройств. М.: Высш. шк., 1979. 104 с. 3. Панфилов С.А. Контроль знаний на ЭВМ: Уч. Пособие. Саранск: Мордов. ун-т, 1987. 76 с. 4. Понтрягин Л.С. Основы комбинаторной топологии. М.: Наука, 1986. 118 с.

*Поступила в редколлегию 19.09.2002.*

УДК 615.47

О. Г. АВРУНИН

## МЕТОДИКА СТЕРЕОТАКСИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ИНТРАОПЕРАЦИОННОМ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

При проведении операций для лечения патологий глубоких структур головного мозга человека применяется стереотаксическая концепция локального малотравматичного воздействия на пораженную область. Высокая точность вмешательства при этом достигается с помощью использования специализированной стереотаксической аппаратуры, средств контроля наведения хирургического инструмента на внутримозговую «мишень» и расчетных алгоритмов для выполнения операционного планирования. Совокупность этих компонентов образует стереотаксическую систему – аппаратно-программный комплекс, предназначенный для определения координат зоны оперативного вмешательства, прецизионного управления хирургическим инструментом и отображения его координат в реальном масштабе времени.

До появления современных томографических методов картирования мозга для проведения стереотаксических расчетов использовались данные контрастной рентгенографии, выполняемой в двух ортогональных (фронтальной и сагиттальной) проекциях. Стереотаксические аппараты – направители хирургического инструмента снабжались массивной металлической рамой с нанесенными рентген-контрастными шкалами [1]. Геометрические построения и вычисления заключались в определении внутримозговой системы стереотаксических координат по ориентирам желудочковой системы мозга, визуализации зоны оперативного вмешательства по анатомическим срезам из специализированных стереотаксических атласов, определении параметров настройки стереотаксического аппарата и вычисления поправочных коэффициентов для уменьшения искажений рентгеновских изображений.

Появление рентгеновской компьютерной и магниторезонансной томографии – высокоинформативных средств анатомического картирования произвело настоящую революцию в возможностях диагностики внутримозговых новообразований и объемных процессов. Однако, в силу физических принципов функционирования и конструктивных особенностей аппаратуры, применение данных методов для обеспечения визуализации области хирургического вмешательства в реальном времени сопряжено с целым рядом проблем, основными из которых являются: невозможность использования стандартной хирургической аппаратуры, создающей артефакты на томографических изображениях; отказ от применения стандартных стереотаксических ориентиров; невозможность дифференциальной визуализации внутримозговых ганглий при функциональных вмешательствах. Эти факторы привели к разделению современных стереотаксических систем по принципу реконструктивного и прямого интраоперационного отображения.

Технология получения косвенного отображения области хирургического вмешательства основывается либо на переносе данных о внутримозговых структурах с предоперационных томограмм на интраоперационные вентрикулограммы [2], либо с помощью дополнительного введения в состав стереотаксической системы специализированных нейронавигационных устройств, оснащенных датчиками положения черепа и хирургического инструмента [3]. В обоих случаях визуализация зоны нейрохирургического вмешательства осуществляется на основе реконструкции предоперационной интраскопической картины мозга. Существенными недостатками данной концепции являются: невозможность учета интервенционного смещения внутримозговых структур и снижение точности (на величину порядка 1 мм [4]) за счет внесения дополнительных погрешностей, связанных с установкой навигационных устройств, переносом изображений, и последующей математической обработкой.

Применение систем прямого интраоперационного картирования мозга позволяет исключить данные недостатки, но соответственно предъявляет дополнительные требования к хирургической аппаратуре и алгоритмам хирургического планирования. В предлагаемой работе приводится попытка описать универсальную методику стереотаксических расчетов при использовании рентгеновской компьютерной томографии в качестве средства интраоперационной визуализации на основе систематизации данных о функционировании современных стереотаксических систем и опыта сотрудничества в данной области со специалистами нейрохирургического отделения Харьковской областной клинической больницы (ХОКБ).

Целью интраоперационных стереотаксических расчетов является обеспечение прецизионного наведения хирургического инструмента на некоторую область внутри мозга, подлежащую лечебно-

му воздействию. Для этого решаются задачи согласования координатных систем мозга, томографических изображений и стереотаксического аппарата, нахождения опорных ориентиров на интраскопических изображениях, построения внутримозговой системы стереотаксических координат, вычисления геометрических характеристик зоны оперативного вмешательства и формирования параметров управления стереотаксическим аппаратом для направленного введения хирургического инструмента вглубь мозга. Схематически это проиллюстрировано на рис.1,а (прямоугольные системы координат мозга и томографических изображений образуются 3-мя плоскостями: фронтальной, сагиттальной и горизонтальной ( $\Phi'$ ,  $C\Gamma'$ ,  $\Gamma'$ ) и ( $\Phi$ ,  $C\Gamma$ ,  $\Gamma$ ) соответственно, а сферическая система координат стереотаксического аппарата характеризуется радиус-вектором  $\rho$ , и углами  $\varphi$  и  $\gamma$ ).

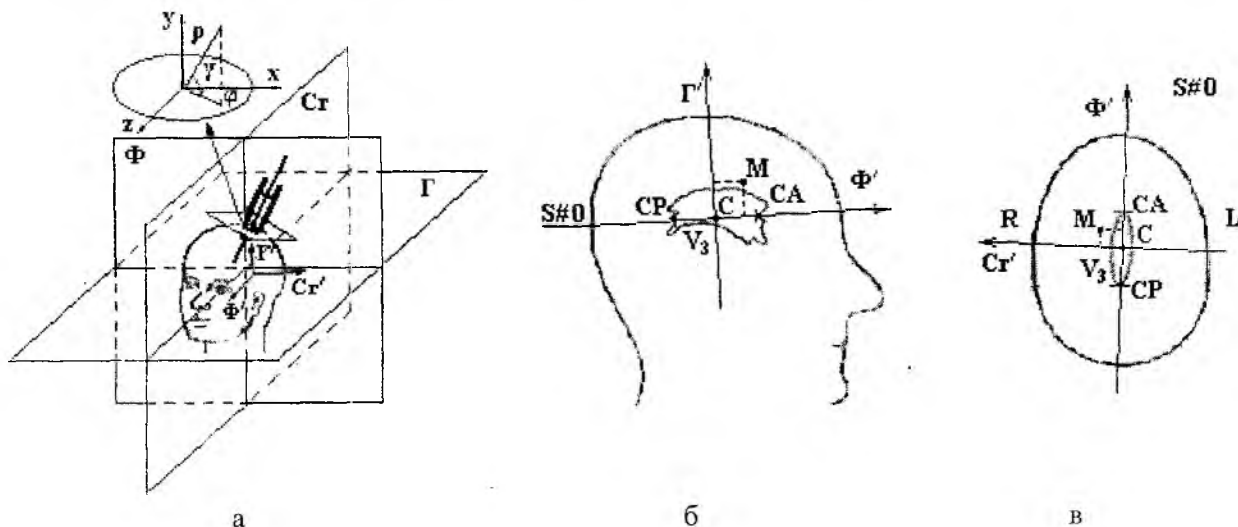


Рис. 1

Рассмотрим методику проведения стереотаксических расчетов при интраоперационном использовании компьютерного томографа СТ MAX 3000 (General Electric) и стереотаксического аппарата конструкции Канделя [1], моделирующего полярную систему координат (две угловые и одна поступательная степени свободы для движения хирургического инструмента). Крепление стереотаксического аппарата выполняется путем фиксации несущей платформы в трепанационном отверстии с помощью цангового зажима, без использования массивной металлической опорной рамы, вызывающей артефакты на изображениях.

Для обеспечения однозначности при согласовании координатных систем, на начальном этапе операции должна выполняться жесткая фиксация головы больного в апертуре гентри томографа с выполнением следующих условий:

1. Установка платформы стереотаксического аппарата перпендикулярно сагиттальной или фронтальной плоскостям системы координат томографических изображений.
2. Фиксирование рентгеноконтрастных меток на голове пациента для обеспечения возможности проведения сканирования параллельно орбитомеатальной плоскости.
3. Получение обзорных краниограмм во фронтальных и сагиттальных проекциях.

Если патологически измененная область характеризуется изменением коэффициента поглощения рентгеновского излучения и отчетливо выделяется на изображениях томографических срезов, то дополнительных расчетов, связанных с определением внутримозговой системы координат не требуется. Однако при функциональных вмешательствах объекты, подлежащие хирургическому воздействию, характеризуются изоденсивными состояниями и контрастно не визуализируются на томограммах. В этом случае применяется метод косвенной визуализации зоны оперативного вмешательства с помощью привязки к опорным точкам – ориентирам внутри мозга, построения внутримозговой системы координат и определения зоны попадания по усредненным данным. В качестве таких ориентиров обычно применяются передняя СА и задняя СР белые спайки мозга [1, 5] (см. рис.1, б, в). Методика определения данных ориентиров заключается в последовательном сканировании области 3-го желудочка ( $V_3$ ) с шагом 1 мм, и нахождения первого (от вершины) локального минимума длины  $V_3$ . Координаты спаек ( $\Phi_{CA}$ ,  $C\Gamma_{CA}$ ,  $\Gamma_{CA}$ ) и ( $\Phi_{CP}$ ,  $C\Gamma_{CP}$ ,  $\Gamma_{CP}$ ) определяются по расположению передней и зад-

ней границ  $V_3$ . Центром внутримозговой системы стереотаксических координат является точка  $C(\Phi_c, C\zeta_c, \Gamma_c)$ , находящаяся на середине линии соединяющей данные спайки (линии  $CA-CP$ ), координаты которой вычисляются согласно формулам:

$$\Phi_c = \frac{\Phi_{CA} + \Phi_{CP}}{2}; C\zeta_c = \frac{C\zeta_{CA} + C\zeta_{CP}}{2}; \Gamma_c = \frac{\Gamma_{CA} + \Gamma_{CP}}{2}.$$

Ввиду того, что орбитомеантальная плоскость параллельна линии  $CA-CP$  (девиация составляет не более  $5^\circ$ ) [5], горизонтальный томографический срез, содержащий первый локальный минимум длины  $V_3$ , расположен в нулевой горизонтальной стереотаксической плоскости (см. рис. 1, в и рис. 2, в). Нулевая фронтальная стереотаксическая плоскость проходит через центральную точку перпендикулярно линии  $CA-CP$ . Нулевая сагиттальная стереотаксическая плоскость проходит через линию  $CA-CP$  перпендикулярно фронтальной и горизонтальной плоскостям. Стереотаксические координаты центра зоны оперативного вмешательства  $M(\Phi', C\zeta', \Gamma')$  определяются относительно точки  $C$  по данным анатомических срезов из атласов головного мозга, наиболее совершенным из которых является атлас G. Shaltenbrandt [6]. Индивидуальная вариабельность мозговых структур учитывается с помощью введения масштабных коэффициентов. Заключительным этапом визуализации зоны оперативного вмешательства является преобразование внутримозговых координат расположения точки-мишени в координаты томографических изображений с помощью параллельного переноса и поворота осей координат с учетом противоположной направленности сагиттальных осей (см. рис. 2).

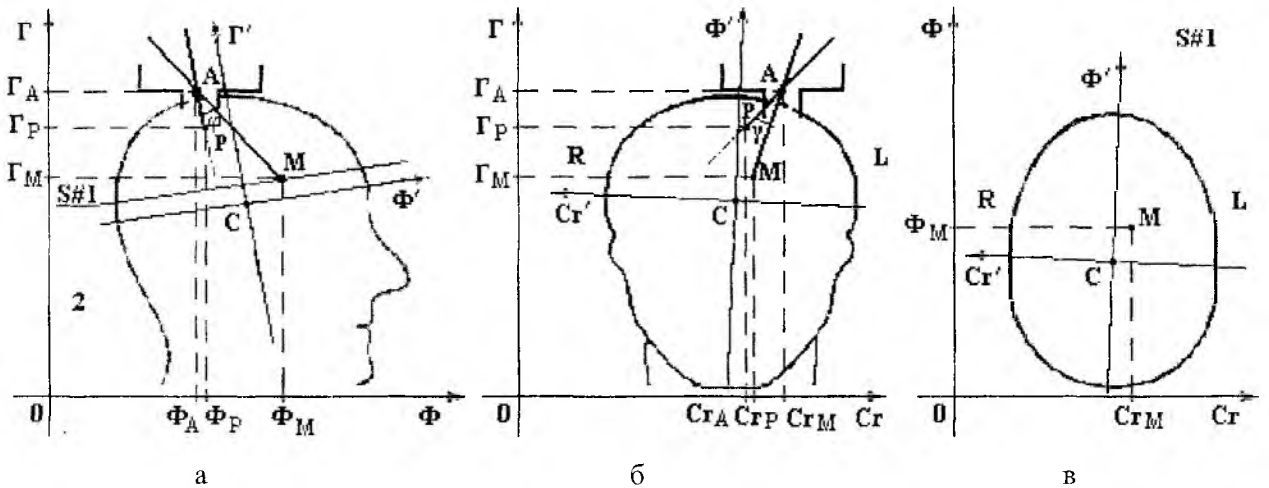


Рис. 2

Для вычисления параметров наведения осуществляется предварительное введение хирургического инструмента вглубь мозга на величину  $r_p \approx 15-20$  мм в ориентировочном направлении на мишень. Это позволяет визуализировать на обзорных рентгенограммах проекции хирургического инструмента в сагиттальной и фронтальной плоскостях. С учетом известных координат центра вращения стереотаксического аппарата  $A(\Phi_A, C\zeta_A, \Gamma_A)$  мишени  $M(\Phi_M, C\zeta_M, \Gamma_M)$  и текущего положения дистальной оконечности хирургического инструмента  $P(\Phi_P, C\zeta_P, \Gamma_P)$  углы поворота  $\varphi$  и  $\gamma$  в сагиттальной (см. рис. 2, а) и фронтальной (см. рис. 2, б) плоскостях а также глубина введения хирургического инструмента  $r_M$  (относительно точки  $A$ ) вычисляются согласно формулам:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 k_2}, \operatorname{tg}\gamma = \frac{k_4 - k_3}{1 + k_4 k_3}, r_M = \sqrt{(\Phi_A - \Phi_M)^2 + (C\zeta_A - C\zeta_M)^2 + (\Gamma_A - \Gamma_M)^2},$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – угловые коэффициенты прямых, проведенных от текущего положения дистальной оконечности хирургического инструмента и мишени к центру вращения стереотаксического аппарата:

$$k_1 = \frac{\Gamma_A - \Gamma_M}{C\zeta_A - C\zeta_M}, \quad k_2 = \frac{\Gamma_A - \Gamma_P}{C\zeta_A - C\zeta_P}, \quad k_3 = \frac{\Gamma_A - \Gamma_M}{\Phi_A - \Phi_M}, \quad k_4 = \frac{\Gamma_A - \Gamma_P}{\Phi_A - \Phi_P}.$$

При этом глубина дополнительного введения хирургического инструмента  $r_X$  с учетом предварительного заглубления составляет:

$$r_X = r_M - r_P.$$

Возможность вычисления глубины дополнительного введения хирургического инструмента особенно актуальна при операциях множественного наведения.

На основе приведенной методики разработано программное обеспечение, позволяющее проведение визуализации зоны оперативного вмешательства и формирование параметров управления стереотаксическим аппаратом для наведения хирургического инструмента.

В качестве примера на рис. 3 приводятся интраоперационные стереотаксические расчеты при проведении оперативного вмешательства на переднем ядре таламуса для лечения гиперкинезов (нейрохирургическое отделение ХОКБ, 2002). На рис. 3, а приводится контрольная обзорная рентгенограмма, выполненная при достижении дистальной оконечностью хирургического инструмента 1 центра зоны оперативного вмешательства 2 с координатами ( $\Phi=17.2$ ,  $Cr=13.5$ ,  $\Gamma=-2.4$ ).

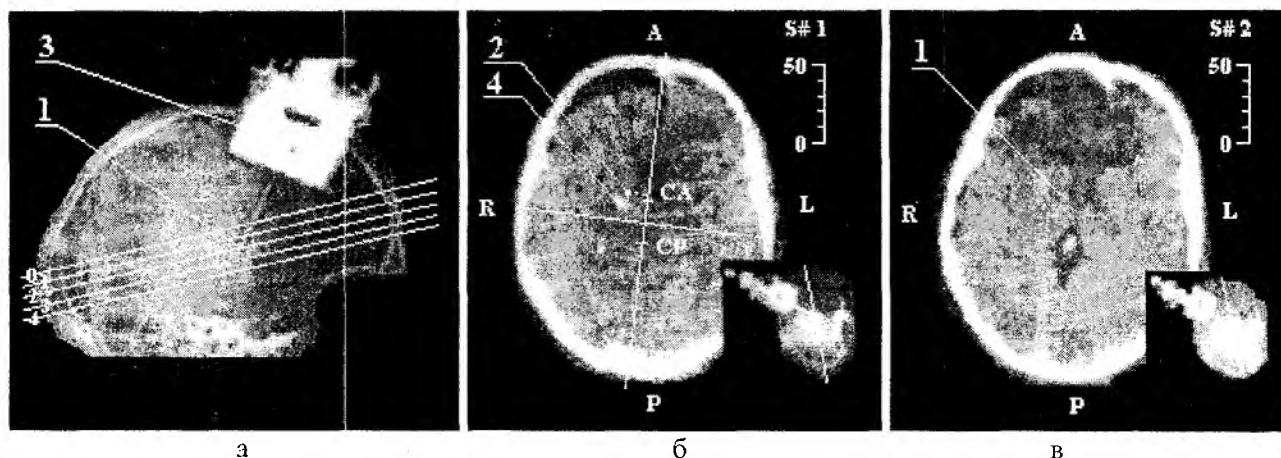


Рис. 3

Хирургический инструмент (криоканюля) вводится с помощью стереотаксического аппарата 3 конструкции Канделя. На рис. 3, б приведена томограмма в нулевой горизонтальной стереотаксической плоскости с обозначенными системой внутримозговых координат и проекцией центра зоны оперативного вмешательства 2. На изображении отчетливо визуализируется артефакт 4 от прохождения хирургического инструмента. На рис. 3, в приведен томографический срез в плоскости точки-мишени 3. Проведенные в нейрохирургическом отделении ХОКБ 20 оперативных вмешательств позволяют судить о пригодности метода. Так, суммарная погрешность наведения во всех случаях составляла не более 2.5 мм. Для выполнения расчетов не требуются высокопроизводительные рабочие станции по сравнению методами косвенного отображения зоны оперативного вмешательства.

Дальнейшее повышение точности наведения связано с увеличением разрешающей способности методов получения томографических изображений, разработкой алгоритмов машинного анализа интраскопических данных с целью автоматического распознавания внутримозговых ориентиров с учетом их индивидуальной вариабельности, а также совершенствованием систем операционного планирования, позволяющих проводить объемную реконструкцию области хирургического вмешательства в реальном масштабе времени.

**Список литературы:** 1. Кандель Э.И. Функциональная и стереотаксическая нейрохирургия. М.: Медицина, 1981. 368 с. 2. Расчет мишеней деструкции с использованием магнито-резонансной томографии при проведении стереотаксической передней каллезотомии / А.С.Шершевер и др. // *Вопр. нейрохирургии. им. Н.Н. Бурденко*. 2001. №3. С. 24–25. 3. Matula C. Intra-operative CT and image-guided surgery. // *Medicamundi*. 1998. Vol. 42, № 1. P. 2–5. 4. Technical accuracy of a neuronavigation system measured with a high-precision mechanical micromanipulator / M Kaus et al. // *Neurosurgery*. 1997. Vol. 41, № 6. P. 1431–1436. 5. Применение компьютерной томографии при стереотаксических операциях у больных с дискинезиями / Шабалов В.А. и др. // *Вопр. нейрохирургии*. 1998. № 3. С. 3–6. 6. Shaltenbrand G., Wahren P. Atlas for stereotaxy of the human brain. Stuttgart: G. Thieme, 1977. 302 p.

Поступила в редакцию 29.08.2002

УДК 577

Н. Н. ГРИГОРЬЕВА, И. И. ЗИМА, Н. Д. ВАСИЛЬЕВ, В. Ю. СБИДОВ, А. В. НЕЧАЕВ

### КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОТБОРА АБИТУРИЕНТОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ БИОЭНЕРГОТЕРАПЕВТОВ

В практике подготовки специалистов в области биоэнерготерапии важное место занимает решение задачи отбора профессионально пригодных абитуриентов.

Применяемые в настоящее время методики отбора, основанные на использовании различных тестов и медицинских обследований, не дают ответа на главные вопросы: способен или не способен абитуриент быть биоэнерготерапевтом; что он способен делать лучше – диагностировать или лечить.

В настоящей статье представлена методика профессионального отбора, позволяющая определить, что человек лучше делает – воспринимает или отдает магнитную энергию и сделать выводы о его профессиональной пригодности.

Физической основой методики являются эффекты зеemanовского расщепления и протолитической диссоциации в жидких средах, находящихся в геомагнитном поле. Теоретической основой методики является квантовая физика минимальных энергий. При этом абитуриент рассматривается как биообъект, находящийся в геомагнитном поле. Внутри этого биообъекта циркулирует информация, ответственная за основные составляющие его высшей нервной деятельности: гомеостаз и речь. Он обладает соответствующими биофизическими каналами приема и передачи информации, а окружающее его биофизическое поле содержит геомагнитную компоненту – геомагнитную ауру.

Геомагнитная аура образуется за счет квантовых энергетических переходов магнитных моментов протонов воды, составляющей на 70 % тело человека. Поскольку энергетические переходы протонов происходят путем прецессии опрокидывания, то геомагнитная аура представляет собой суммарное вращающееся (роторное) магнитное поле, окружающее тело человека.

Геомагнитная аура подобно отпечаткам пальцев человека однозначно характеризует его конституцию, то есть: гемотип, лимфотип, генотип, невротип, психотип, энерготип и др. Она связывает человека через геомагнитное поле с космосом и определяет его чувствительность к изменениям магнитной активности Солнца, изменениям погоды, климата, окружающей среды и др.

Посредством роторных полей между биообъектами может осуществляться биоинформационное взаимодействие, в том числе роторная диагностика и роторная терапия. Возможность использования квантов роторных полей для целей профессионального отбора обусловлена тем, что величина их энергии является минимальной в окружающем мире и имеется возможность создания высокочувствительных измерительных устройств.

Роторная диагностика базируется на способности человека принимать слабые роторные поля, а роторная терапия – на способности их излучать. В зависимости от чувствительности и интенсивности излучений абитуриента может быть определена его профессиональная пригодность к биоэнерготерапии.

Предлагаемая комплексная методика основана на использовании методов измерения чувствительности и интенсивности роторных излучений абитуриента по каналу гомеостаза. При этом не учитывается психическое и эмоциональное состояние абитуриента, в предположении о твердости его решения стать биоэнерготерапевтом и готовности продемонстрировать все свои способности комиссии. Такой подход может быть оправдан, например, при подготовке медицинских работников по программе второго высшего образования.

Для измерения чувствительности абитуриентов к роторным излучениям использован метод внутриклеточного микроэлектрофореза электроотрицательных ядер клеток буккального эпителия человека [1]. Принцип метода состоит в приготовлении препарата из воды и эпителиальных клеток абитуриента и в подсчете числа ядер, смещающихся в клетках под действием приложенного переменного напряжения. При этом в качестве показателя используется процентное содержание подвижных ядер, определяемое визуально. Чувствительность абитуриента к роторным излучениям определяется по изменению процентного содержания подвижных ядер после воздействия на препарат биоэнерготерапевта, входящего в состав комиссии.

Метод внутриклеточного микроэлектрофореза позволяет также определить биологический возраст абитуриента и сравнить его с паспортным. Отклонение биологического возраста от паспортного характеризует состояние его здоровья.

Для определения интенсивности роторных излучений абитуриента использован метод роторной спектроскопии[2]. Определение интенсивности производится прибором, регистрирующим увеличение магнитных роторных излучений протонов жидкости, находящейся в его датчике, при воздействии на них роторного поля абитуриента. В качестве показателя используется изменение интенсивности свечения калиброванного индикатора или изменения показаний стрелочного прибора.

При определении профессиональной пригодности абитуриентов в рамках предлагаемой методики могут быть использованы и другие показатели, характеризующие состояние их здоровья, психики и нервной деятельности.

Практическая реализация предлагаемой методики сводится к определению и сравнительному анализу показателей абитуриентов, внесению их в банк данных и набору статистики.

В настоящей работе приводятся некоторые результаты первого обследования группы из сорока абитуриентов, проведенного в соответствии с предложенной методикой. Результаты исследований сведены в табл.1.

Здесь по вертикали приведены номера абитуриентов, а по горизонтали – следующие данные:

- 1 – паспортный возраст абитуриента;
- 2 – биологический возраст абитуриента;
- 3 – чувствительность абитуриента к роторным излучениям, %. Знак «+» означает нормализацию биологического возраста абитуриента после воздействия биоэнерготерапевта, а знак «-» – наоборот;
- 4 – интенсивность роторных излучений абитуриента, %;
- 5 – заключение комиссии о профессиональной пригодности (пример).

Важное место при принятии решения комиссией является определение пороговых значений показателей. Очевидно, что для объективности принятия

решения необходимо проведение кропотливых измерений с целью набора необходимой статистики. К сожалению, авторы настоящей статьи не имели возможности получить необходимые данные и поэтому ограничились следующим примером принятия решения комиссией.

Комиссия квалифицировала абитуриентов по четырем группам: «биодиагност», «биотерапевт», «биоуниверсал», «обычный человек».

При этом соответствующая квалификация присваивалась абитуриентам, имеющим следующие показатели:

- «биодиагност» – чувствительность более  $\pm 30$  % и интенсивность менее 50 %;
- «биотерапевт» – чувствительность менее  $\pm 30$  % и интенсивность более 50 %;
- «биоуниверсал» – чувствительность более  $\pm 30$  % и интенсивность более 50 %;
- «обычный человек» – чувствительность менее  $\pm 30$  % и интенсивность менее 50 %.

Как видно из табл.1, из 40 абитуриентов по роторным показателям пригодными для работы биоэнерготерапевтом оказались только 13, что составляет около 30 %. Остальные абитуриенты либо не прошли обследование полностью, либо являются обычными людьми, больше пригодными для работы в области традиционной медицины и др. Заметим, что комиссия не принимала отрицательных решений по показателю соответствия с точностью  $\pm 2$  года паспортного и биологического возрастов. С учетом этого показателя профессиональный отбор прошел бы только один абитуриент. Поскольку данный показатель характеризует состояние здоровья человека, то можно сделать вывод о том, что в данной группе очень мало здоровых людей – всего 10 %.

Характеризуя общие показатели группы абитуриентов, можно отметить также, что количество людей с повышенной чувствительностью (более  $\pm 30$  %) и людей не чувствительных (менее  $\pm 5$  %) к воздействию биоэнерготерапевта примерно равно и составляет около 18 %. В группе имеется 25 % людей, у которых воздействие биоэнерготерапевта вызывает не нормализующую, а обратную реакцию.

Результаты первого обследования абитуриентов, проведенного в соответствии с предложенной методикой, свидетельствуют о том, что у комиссии возникало больше вопросов, чем ответов. Важными вопросами являются адекватность и достоверность обследования и принятия решения.

Для получения ответов на эти вопросы необходимо проведение комплексных научных исследований в разных физических полях и с учетом влияния внешних факторов и психоэмоционального состояния абитуриентов.

Таблица 1

	Паспортный возраст	Биологический возраст	Чувствительность к роторным излучениям	Интенсивность роторных из- лучений, %	Заключение комиссии о профессиональной пригодности
1	41	21	6	30	обычный
2	40	46	-8	30	обычный
3	34	28	5	50	обычный
4	35	21	32	70	биоуниверсал
5	42	55	45	50	биодиагност
6	21	74	34	70	биоуниверсал
7	52	28	6	70	биотерапевт
8	24	24	-19	50	обычный
9	37	80	0	40	обычный
10	29	21	13	30	обычный
11	35	-	25	80	биотерапевт
12	35	-	-4	80	биотерапевт
13	19	18	2	50	обычный
14	30	33	17	90	биотерапевт
15	47	40	10	90	биотерапевт
16	28	36	-7	40	обычный
17	54	30	-11	40	обычный
18	43	-	-	50	обычный
19	46	-	-	30	обычный
20	63	-	-	50	обычный
21	25	40	27	50	обычный
22	52	50	-35	50	биодиагност
23	48	95	23	60	биотерапевт
24	37	21	-4	30	обычный
25	44	-	-	30	обычный
26	43	-	-	40	обычный
27	28	53	26	40	обычный
28	41	37	7	60	биотерапевт
29	50	96	64	30	биодиагност
30	29	55	13	40	обычный
31	48	39	21	30	обычный
32	42	38	26	30	обычный
33	27	-	-	70	биотерапевт
34	20	24	-20	30	обычный
35	30	29	-16	30	обычный
36	56	21	13	30	обычный
37	22	35	-7	30	обычный
38	38	21	-	40	обычный
39	40	95	0	30	обычный
40	37	42	10	40	обычный

**Список литературы:** 1. Шахбазов В.Г., Григорьева Н.Н., Колупаева Т.В. Новый цитобиофизический показатель биологического возраста и физиологического состояния организма человека // Физиология человека. 1996. Т.22, № 6. 2. Зима И.И., Богданов Г.Ф., Нечаев А.В. Роторная спектроскопия потоков больших энергий // Вестник ХГПУ. Харьков. 1999. Вып. 75.

Поступила в редколлегию 18.07.2002.

УДК 004.78

И. В. ШОСТАК, А. Н. УСТИНОВА, С. В. УЛЬЯНИНА, А. В. ФУФАЕВ

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА КАК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Научно-технический прогресс привел к появлению нового класса объектов управления – крупномасштабных объектов (КМО), таких как большие города, районы добычи сырья и полезных ископаемых, природоохранные зоны. К классу КМО могут быть отнесены и объекты меньшего масштаба, например атомные электростанции, транспортные узлы, мощные химико-технологические комплексы, предприятия авиационного профиля и т.п.

Характерными особенностями КМО являются:

1. разнородный состав (наличие технических, технологических, социальных, экономических, экологических и других подсистем);
2. большое число связанных между собой объектов в составе КМО, а также переменных, описывающих эти объекты;
3. сравнительно высокая динамика функционирования КМО при наличии многочисленных внешних возмущений;
4. топологическая распределенность на значительной территории.

Указанные особенности породили ряд проблем, связанных с разработкой эффективных систем управления КМО. Первые три особенности определяют проблемы, связанные с разработкой и реализацией адекватных математических моделей функционирования таких объектов, поскольку применение существующих (традиционных) методов при создании аналитических моделей КМО имеет ряд ограничений. Эти ограничения вызваны, прежде всего, неопределенностью законов управления и большой размерностью получаемых моделей. Четвертая особенность требует качественно новых подходов и технологий для описания процессов существования и функционирования КМО в реальном пространстве, с привязкой к топографической основе.

Для моделирования слабоструктурированных и неопределенных объектов большой размерности, к которым относятся и КМО, могут быть успешно применены методы и средства искусственного интеллекта, в частности, в форме экспертных систем. Поскольку одним из характерных свойств КМО является сравнительно высокая динамика функционирования, здесь целесообразно использовать динамические экспертные системы (ДЭС)[1].

Важной особенностью ДЭС является наличие базы знаний (БЗ), содержащей достаточно полный объем экспертных знаний в области принимаемых решений. Формирование решений производится автоматически компьютером в результате вывода на знаниях, что позволяет быстро принимать решения на основании всей имеющейся в БЗ экспертной информации без опасения ошибок из-за неучтенных существенных факторов.

В отличие от традиционных (статических) экспертных систем при создании ДЭС необходимо решить ряд научных проблем, связанных с тем, что система работает в реальном времени и решения должны формироваться с учетом временных ограничений. К таким проблемам относятся в первую очередь:

- 1) необходимость отображения текущего состояния объектов управления и окружающей среды в БЗ ДЭС;
- 2) учет ограничений на время формирования решения задач путем вывода на знаниях с использованием большого объема необходимой экспертной информации, имеющейся в БЗ ДЭС;
- 3) реализация в ДЭС специальных стратегий вывода на знаниях при управлении сложными объектами с неполной информацией в реальном времени.

Решение первой из указанных задач получено в работе [2] для продукционных баз знаний путем построения метаправил, с учетом в каждом конкретном случае структуры баз данных (БД) и БЗ.

Вторая из указанных задач решается в работе [3] на основе принципа определения текущего состояния БЗ и принципа динамической декомпозиции БЗ с определением текущего состояния БЗ. Реализация этих принципов позволяет минимизировать количество правил продукции, используемых для формирования решения задачи в каждый момент реального времени функционирования ДЭС.

Решение третьей из перечисленных задач зависит от особенностей конкретного объекта управления и характера влияния недостающей информации об объекте и окружающей среде на процесс вывода на знаниях.

Эффективное применение ДЭС во многом зависит от организации системы мониторинга текущего состояния объекта. Такую систему можно реализовать на основе геоинформационной технологии, которая даст возможность объединить разнородную информацию в единой среде и обеспечит следующие возможности:

1. Прозрачность восприятия данных независимо от их внутреннего формата;
2. Обеспечение необходимой функциональности, которую обычно предоставляют геоинформационные системы:
  - 2.1. сетевой анализ, позволяющий находить оптимальные маршруты доставки средств;
  - 2.2. выполнение пространственных запросов на основе топологического представления графических объектов (например, с целью определения препятствий на маршрутах следования спасательной техники);
  - 2.3. возможность работы с цифровой моделью рельефа.
3. Проведение картографической визуализации и моделирования планов средствами геоинформационных систем (ГИС)[4,5].

Вместе с тем, применение ГИС для мониторинга КМО сопряжено с необходимостью хранения и обработки значительных объемов информации обо всех точках пространства, в которых расположен КМО, а также необходимостью периодической актуализации информации в банке данных ГИС.

Система мониторинга ГИС может быть эффективно организована на основе PALM-технологии. При создании сети центров сбора и первичной обработки информации о текущем состоянии объектов управления, PALM-компьютер обладает рядом существенных преимуществ по сравнению со стандартными IBM PC – совместимыми ПК:

- сравнительно малые габариты (“PALM” в переводе с англ. означает «ладонь») и вес, следствием чего является мобильность и высокая степень защиты от воздействий внешней среды (пыль, грязь, вода, мех. повреждения);
- высокая производительность при работе с базами данных;
- разнообразие способов передачи данных (через порт в стационарный компьютер, посредством мобильной связи, через интернет и по телефонным каналам);
- универсальность PALM-компьютера в случае использования разнообразных средств сбора информации (датчиков, измерителей и т. д.);
- низкая стоимость PALM (в среднем в 6 раз ниже стоимости стандартного ПК).

Недостатком PALM является трудность приобретения навыков ввода информации в PALM отдельными категориями пользователей(ввод осуществляется при помощи распознавания символов, написанных от руки); небольшие размеры монитора.

Указанные недостатки PALM могут быть преодолены путем создания дружественного пользовательского интерфейса.

Решение задач, связанных с минимизацией объема оперативной информации при функционировании ГИС возможно путем вывода на знаниях как результата работы ДЭС. Отсюда вытекает целесообразность объединения ДЭС и ГИС с мониторингом текущего состояния КМО на основе PALM в рамках единой интегрированной интеллектуальной системы принятия решений (ИИСППР), в которой также будут использоваться и традиционные методы. Обобщенная структура ИИСППР приведена на рис. 1.

В этой системе в общем случае реализуются три информационных контура обратной связи с объектом:

- традиционный контур управления, включающий систему мониторинга на основе ГИС, БД ГИС, средства реализации традиционных методов;
- интеллектуальный контур, который охватывает БД мониторинга, модуль отображения текущего состояния объекта в БЗ, ДЭС и ЛПР (лицо, принимающее решения);
- экспертный контур управления, в состав которого входят эксперты вместе с источниками информации, подсистема приобретения знаний, ДЭС, ЛПР и система реализации управления на объекте.

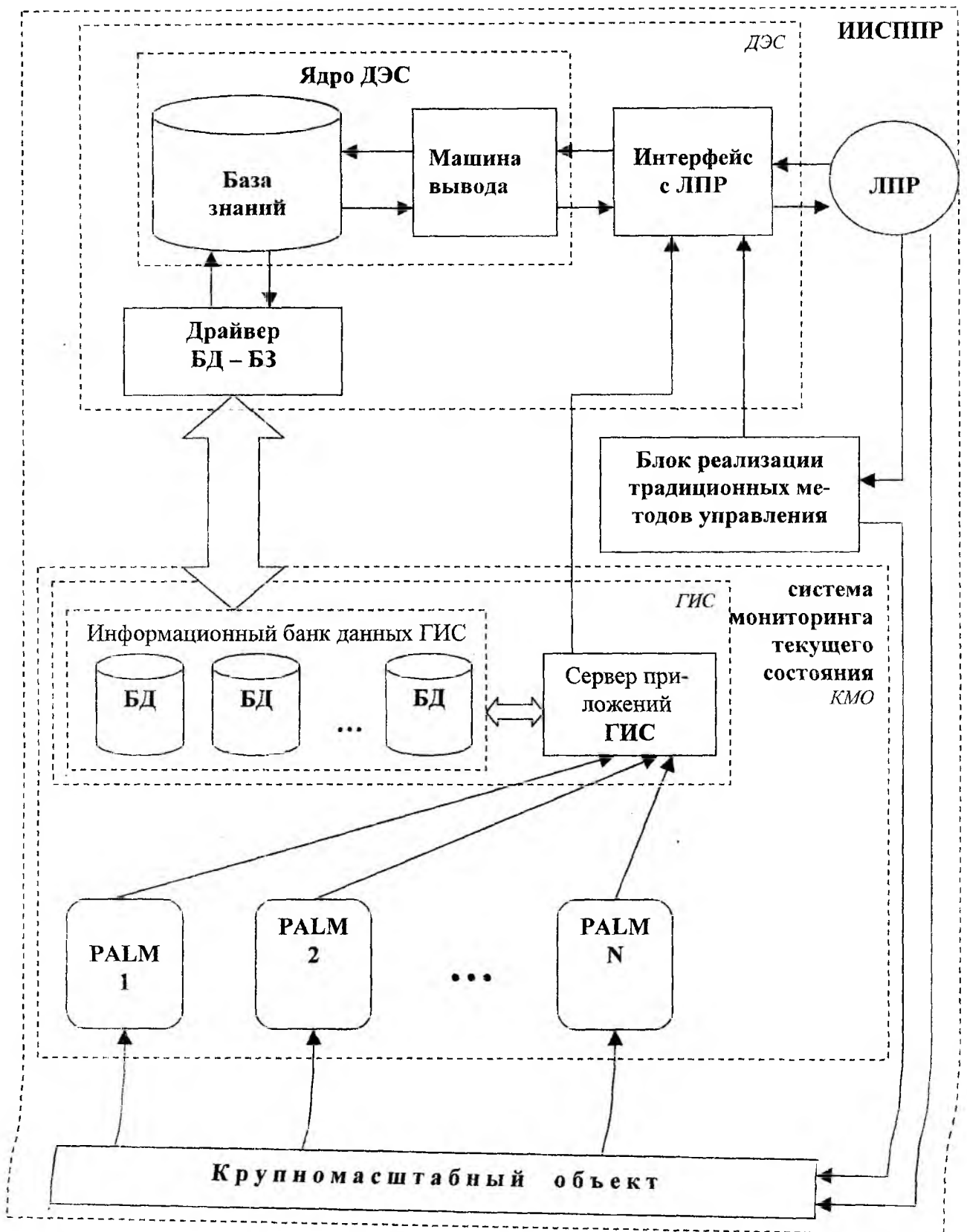


Рис. 1. Структура ИИСППР на основе ГИС.

По признаку быстродействия эти контуры могут быть упорядочены в иерархическую структуру, в которой нижний уровень занимает наиболее быстрый, традиционный контур. Более медленный,

интеллектуальный контур занимает второй уровень. На верхнем же уровне расположен самый медленно действующий экспертный контур, позволяющий отражать в БЗ научные достижения в соответствующей области, а также обобщать собственный опыт функционирования интеллектуальной системы управления. Очевидно, что вышележащий уровень имеет возможность корректировать работу нижележащего уровня, поскольку он использует больший объем знаний для решения задач в соответствующей области.

Функционирование указанных контуров обеспечивает ряд преимуществ рассматриваемой системе управления:

- высокую эффективность принимаемых решений за счет максимального использования имеющейся в БЗ экспертной информации;
- использование новейших достижений в системе благодаря обновлению содержимого БЗ в процессе работы экспертного контура;
- возможность использования в ДЭС интуитивных представлений экспертов в виде нечетких знаний;
- совместное использование традиционных технологий принятия решений и интеллектуальных методов, что обеспечивает повышение быстродействия и эффективности работы системы.

Рассмотрим процесс решения задачи минимизации объема оперативной информации при функционировании ГИС на основе ИИСППР. При этом решения в ДЭС формируются путем вывода на знаниях, генерирующего семейство последовательности правил  $\{P_i\}$ ,  $i \in Q_n$ , где  $i$  – индекс правила продукции из множества индексов правил  $Q_n$ ,  $n$ -й последовательности вывода на знаниях.

Каждое правило продукции  $P_i$  представляет собой совокупность

$$P_i: P_{ia} \rightarrow D_i P_{ik}, \quad (1)$$

где  $P_{ia}$  – подмножество предикатов антецедента  $i$ -го правила;  $D_i$  – действие, выполняющееся при срабатывании  $P_i$  правила;  $P_{ik}$  – подмножество предикатов консеквента правила  $P_i$ .

В последовательностях  $\{P_i\}$ ,  $i \in Q_n$  содержатся правила, у которых предикаты антецедента  $P_{ia}$  удовлетворены, что приводит к срабатыванию правила, в результате чего на объектах выполняется действие  $D_i$  и удовлетворяются предикаты консеквента  $P_{ik}$ .

Каждый предикат консеквента подмножества  $P_{ik}$  удовлетворен в результате срабатывания предыдущего правила последовательности  $Q_n$  и, в свою очередь, входит в состав антецедента последующего правила продукции этой последовательности, поэтому срабатывание предыдущего правила может вызвать срабатывание последующего правила, образуя последовательность  $\{P_i\}$ ,  $i \in Q_n$ .

Таким образом, в ДЭС формируется решение  $\{P_i\}$ ,  $i \in Q_n$  на основе БЗ, состоящей из правил продукции (1), которая включает знания экспертов.

В силу значительного объема информации в БД ГИС ее затруднительно включить в БЗ ДЭС без значительного усложнения БЗ и процесса вывода на знаниях в ДЭС. Если же эта информация не включена в БЗ ДЭС, то полученное в результате вывода на знаниях решение  $\{D_i\}$ ,  $i \in Q_n$ , естественно, тоже не будет учитывать эту информацию. В результате сформированные действия  $\{D_i\}$ ,  $i \in Q_n$  могут предусматривать, например, перевозку грузов и людей по направлениям, где отсутствуют дороги и мосты или перевозки по воздуху там, где проходят трассы железной дороги, а также допускать существенные ошибки в стратегии тушения лесного пожара, если кромка пожара движется, например, к трассе нефтепровода, что угрожает нарушению работы нефтепровода и усилению пожара. Для исключения этого (в случае нецелесообразности введения информации БД ГИС в БЗ ДЭС) необходимо корректировать решение  $\{D_i\}$ ,  $i \in Q_n$  на основе информации БД ГИС. Такая корректировка состоит в уточнении решений  $\{D_i\}$ ,  $i \in Q_n$  с учетом информации в БД ГИС. Эту корректировку удобно назвать нижним уровнем или вторым этапом обработки информации. Например, для рассмотренных выше случаев, такая корректировка может состоять в выборе для перемещения грузов или людей в направлении, указанном в решении  $\{D_i\}$ ,  $i \in Q_n$  (решение верхнего уровня или первого этапа), более удобной дороги или организации такой стратегии тушения лесного пожара, которая не позволит кромке лесного пожара пересечь трассу нефтепровода и т.п.

Таким образом, двухуровневая (двухэтапная) процедура обработки на верхнем уровне (первом этапе) предполагает формирование решения путем вывода на знаниях на основе экспертной информации в БЗ ДЭС, а на втором (втором этапе) – осуществить корректировку решения с тем, чтобы реализация решения была либо наиболее эффективной, либо наиболее экономичной на основе информа-

ции в БД ГИС. Корректировку решения на нижнем уровне (втором этапе) можно представить в виде следующих шагов:

- определение подмножества действий решения верхнего, которое необходимо корректировать на нижнем уровне;
- определение БД ГИС, информация которых необходимо использовать для корректировки решения верхнего уровня;
- извлечение из БД ГИС информации, необходимой для корректировки решения верхнего уровня (первой ступени);
- определение множества альтернативных решений нижнего уровня (второй ступени), реализующих решение верхнего уровня;
- оценка эффективности и близости альтернативных решений нижнего уровня к решению верхнего уровня (оценка целесообразности реализации альтернативного решения нижнего уровня для осуществления решения верхнего уровня);
- реализация наиболее целесообразного из альтернативных решений.

Выполнение двухуровневой (двухэтапной) процедуры решения позволяет сократить время формирования решения на верхнем уровне за счет отсутствия в БЗ ДЭС оперативной информации о КМО (она хранится в БД ГИС), вместе с тем учитывая эту информацию при выводе на знаниях.

Из имеющихся на рынке ГИС-систем для создания ИИСПП наиболее пригодна британская разработка Smallworld GIS. В ней удачно сочетаются возможности современных СУБД и ГИС. Кроме того, в Smallworld заложены разнообразные средства интеграции с внешними системами, такими как коммерческие СУБД (Oracle, MS SQL Server и др.), а ее серверные возможности позволяют предоставлять собственную функциональность для таких клиентов, как C++, Delphi, Visual Basic, Power Builder на основе архитектуры тонкого клиента. Функциональность СУБД и ГИС, необходимая для предоставления исходных данных ИИСПП, сосредоточивается на сервере приложений Smallworld GIS. По отношению к серверу приложений ГИС, ИИСПП выступает в роли тесно интегрированной подсистемы с двунаправленным обменом данными. ИИСПП запрашивает сервер на получение значений необходимых параметров, что заставляет сервер выполнять соответствующие запросы. После получения значений всех параметров предлагается план ликвидации пожара, который затем может быть визуализирован средствами ГИС.

Необходимость такой системы особенно актуальна в период продолжительной засухи, когда одновременно может возникнуть несколько очагов пожара и нужно наиболее рационально разместить силы и ресурсы для их тушения.

Другой предметной областью, где может быть успешно применена ИИСПП является процесс автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) на крупном предприятии авиационного профиля. Функциональные задачи, связанные с ТПП, в общем случае сводятся к четырем группам: механообработке, плоской штамповке, объемной штамповке и наплавке.

В процессе ТПП для каждой детали чертежа изделия создается технологическая карта, в которой приведена последовательность технологических операций, и маршрутная карта. Одной из характерных групп задач ТПП является организация механообработки. Проиллюстрируем функционирование ИИСПП при реализации ТПП механообработки на этапе выбора оборудования.

Система мониторинга ИИСПП сообщает об исправности, загруженности, готовности станков. В случае если указанное в маршрутной карте оборудование не исправно, или по какой-либо другой причине не готово выполнять операцию, это может повлечь за собой необходимость внесения изменений в маршрутную карту.

В производственных условиях, например в механическом цехе авиастроительного предприятия, компьютерами PALM оснащаются мастера участков, которые будут вводить информацию о текущем состоянии оборудования (станков), наличии исполнителей (рабочих-станочников). Кроме того, PALM должен находиться и у заведующего цеховым складом; с этого PALM в ИИСПП будет периодически вводиться информация о наличии инструментов, материалов, заготовок. Информация с производственных участков и склада заносится в соответствующие БД ГИС системы мониторинга ИИСПП.

Допустим, осуществляется ТПП для детали класса “тело вращения” (валы и т.п.). Тогда в БЗ ДЭС будет активизирована следующая группа правил (табл. 1), отражающих метазнания о критериях выбора оборудования в зависимости от параметров детали.

Таблица 1.

Критерий выбора оборудования	Правила продукции, описывающие метазнания
Металлорежущие станки (группы)	<b>ЕСЛИ</b> Заготовка – вал <b>И</b> Обтачивание черновое <b>ТО</b> Тип станка – токарный
Типы токарных станков	<b>ЕСЛИ</b> Тип станка – токарный <b>И</b> Тип производства – единичное
Степень автоматизации	<b>ТО</b> Станок – токарно-револьверный
Марки токарных станков	<b>ЕСЛИ</b> Тип станка – токарно-револьверный <b>ТО</b> Марки станков [ ... ]
Габариты заготовки	<b>ЕСЛИ</b> Габариты заготовки $\leq$ ___ <b>И</b> Марки станков [ ] <b>ТО</b> Марки станков [ ... ]
Частота вращения шпинделя	<b>ЕСЛИ</b> Материал заготовки – ___ <b>И</b> Тип станка – токарный <b>ТО</b> Скорость вращения шпинделя ___ об/сек <b>ЕСЛИ</b> Скорость вращения шпинделя ___ об/сек <b>ТО</b> Марки станков [ ]

В результате работы системы мониторинга на основе PALM будут активизированы те правила (табл. 2) из БЗ ДЭС, которые непосредственно связаны с определением текущего состояния объекта (токарного участка).

Таблица 2

Наличие станков необходимого типа	<b>ЕСЛИ</b> Марки станков [ ] <b>И</b> Марки станков [ ] <b>ИМЕЮТСЯ</b> <b>ТО</b> Марки станков [ ... ]
Загруженность станка	<b>ЕСЛИ</b> Марки станков [ ] <b>И</b> Станки [ ] загружены <b>ТО</b> Марки станков [ ___ – загр. ст. ]
Исправность станка	<b>ЕСЛИ</b> Марки станков [ ] <b>И</b> Станки [ ] <b>НЕИСПРАВНЫ</b> <b>ТО</b> Марки станков [ ___ – неиспр. станки ]

Из приведенных выше правил, машиной вывода ДЭС формируется цепочка от исходной ситуации до целевой, включающая в себя, с одной стороны, метаправила о методике выбора станков для обработки конкретного типа детали (табл. 1), а с другой – правила (табл. 2) определяющие выбор станка по его текущему техническому состоянию

Таким образом применение ИИСПР на основе ГИС и PALM-технологий позволяет существенно повысить эффективность управления КМО в следующих аспектах:

- уменьшение объема информации, обрабатываемой в текущий момент времени при функционировании ГИС и, следовательно, повышение оперативности принимаемых решений;
- принятие управленческих решений на основе дружественного картографического интерфейса с учетом текущего состояния КМО;
- “прозрачность” представления КМО на всех уровнях управления.

**Список литературы:** 1. Попов Э.В. Динамические интеллектуальные системы в моделировании и проектировании, Москва: МИФИ, 1996. 2. Шостак В.Ф., Шостак И.В. Информационный ресурс в интеллектуальных системах предупреждения и преодоления чрезвычайных ситуаций. Материалы международного симпозиума "Интеллектуальные системы управления". С.-П., 1996. 3. Шостак И.В. Управление сложными объектами в реальном времени на основе динамических экспертных систем. В сборнике "Авиационно-космическая техника и технология" Вып.Ю.-Харьков, 1999, С. 204-210. 4. Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика / Под ред. Д.В. Лисицкого Москва: «Картгеоцентр»-«Геоиздат», 1993, 213с.:ил. 5. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 288 с.

Поступила в редакцию 21.03.2002.

УДК 004.78

Л. А. ГОРДИЕНКО

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНАСТКИ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

### Постановка задачи

Интеллектуальная подсистема поддержки принятия технологических решений при проектировании оснастки в заготовительно-штамповочном производстве разрабатывается в рамках интеллектуальной системы поддержки принятия технологических решений для заготовительно-штамповочного производства авиационных конструкций

При проектировании оснастки возникает ряд слабоструктурированных проблем, к которым относятся, например, задачи выбора совмещенности операций в штампе, выбора типа раскроя и прогнозирования износа оснастки в условиях неопределенности. Решение подобных проблем достигается лишь на основе использования экспертных знаний, то есть с помощью подсистем, способных извлекать, обрабатывать и накапливать знания, как это делает человек – эксперт.

Для решения указанных проблем требуется разработать интеллектуальный блок, реализующий синтез сетей рассуждений. Исходными данными для генерирования сетей рассуждений являются: пороговое значение математического ожидания достоверности найденных закономерностей  $M_s$  и обучающая выборка, представляющая собой конечное множество объектов исследуемого класса. Результатом является дерево принятия решений.

### Методика решения

Согласно теории РАКЗ – метода [1, 2] исходные данные об исследуемом объекте, структурируются как осмысленные алгоритмические кванты знаний, допускающие логический вывод новых квантов знаний из исходных посредством векторно-матричных операций. Полученная таким образом обучающая выборка является квантом знаний 2-го уровня  $tk_2\Sigma_0$  и представляет собой совокупность квантов знаний 1-го уровня, имеющих следующий вид:

$$tk_1y = [d_1 : d_2 : \dots : d_n] = [\alpha_1^1 \dots \alpha_{\rho_1}^1 : \alpha_1^2 \dots \alpha_{\rho_2}^2 : \dots : \alpha_1^n \dots \alpha_{\rho_n}^n] \quad (1)$$

где  $d_i$  – домен  $i$ -той характеристики (включая целевую характеристику  $X_c$ ), описывающей исследуемый объект принятия решений (ОПР), которая принимает значения из конечного множества

$$X^{(i)} = \{\alpha_1^{(i)}, \alpha_2^{(i)}, \dots, \alpha_{\rho_i}^{(i)}\}$$

Из обучающей выборки посредством оператора индукции определяются запретные закономерности, из которых формируется минимизированная база квантов знаний в форме точного матричного кванта 2-го уровня  $tk_2 \Sigma_{bm}$ . Запретная закономерность представляет собой характеристическое множество из элементов пространства моделей, отвечающее имплицативной связи между теми признаками объекта, комбинации значений которых недопустимы для данного класса объектов.

Поскольку запрет  $r$ -того ранга (связь между  $r$  характеристиками ( $r \leq n$ )) представляет собой недопустимую для рассматриваемого класса ОПР комбинацию значений  $r$  признаков, то построение базы квантов знаний сводится к нахождению отсутствующих в обучающей выборке комбинаций значений характеристик 1, ...,  $r$  ранга и формированию из них базы квантов знаний.

Достоверность имплицативной закономерности, выражаемая через вероятность  $Ps(m, n, r)$  события  $s\{m, n, r\}$ , которое содержит имплицативные знания, вытекающие из выборочного кванта  $tk_2\Sigma_0$  размером  $m \times n$ , оценивается следующим соотношением:

$$Ps(m, n, r) \leq Ms\{m, n, r\} = \frac{n! * 2^{r*(1-m)} * (2^r - 1)^m}{r! * (n - r)!} \leq Ms^* \quad (2)$$

где  $M_s^*$  – заданное пороговое значение математического ожидания случайности используемых закономерностей.

На основании соотношения (2) вычисляется максимальный ранг закономерностей, используемых для формирования БкЗ.

Формирование базы квантов знаний предусматривает ее минимизацию, то есть добавление в БкЗ найденной закономерности происходит при условии, что уже присутствующие в БкЗ закономерности не покрывают найденную, что обеспечивает безызбыточность БкЗ.

Из полученной БкЗ синтезируется решающее правило (РП), в виде сети рассуждений, посредством применения оператора дедукции. Формирование древовидного РП осуществляется путем последовательного определения признаков в порядке убывания их информативности и упрощения БкЗ посредством удаления из нее соответствующих строк и столбцов на каждой итерации алгоритма синтеза дерева рассуждений (АСДР).

На вход алгоритма АСДР подается база квантов знаний  $tk_2 \bar{\Sigma}_{bm}$  (целевым признаком считается последний), на выходе получаем квантовое дерево рассуждений  $G = (E, U)$ , где  $E$  – множество вершин (характеристик ОПР),  $U$  – множество причинно – следственных связей между характеристиками.

Формирование дерева принятия знаниеориентированных решений предусматривает минимизацию дерева, путем объединения ветвей ведущих к одинаковому значению целевой характеристики, при одних и тех же значениях определяющих характеристик. Сформированная сеть рассуждений имеет следующий вид:

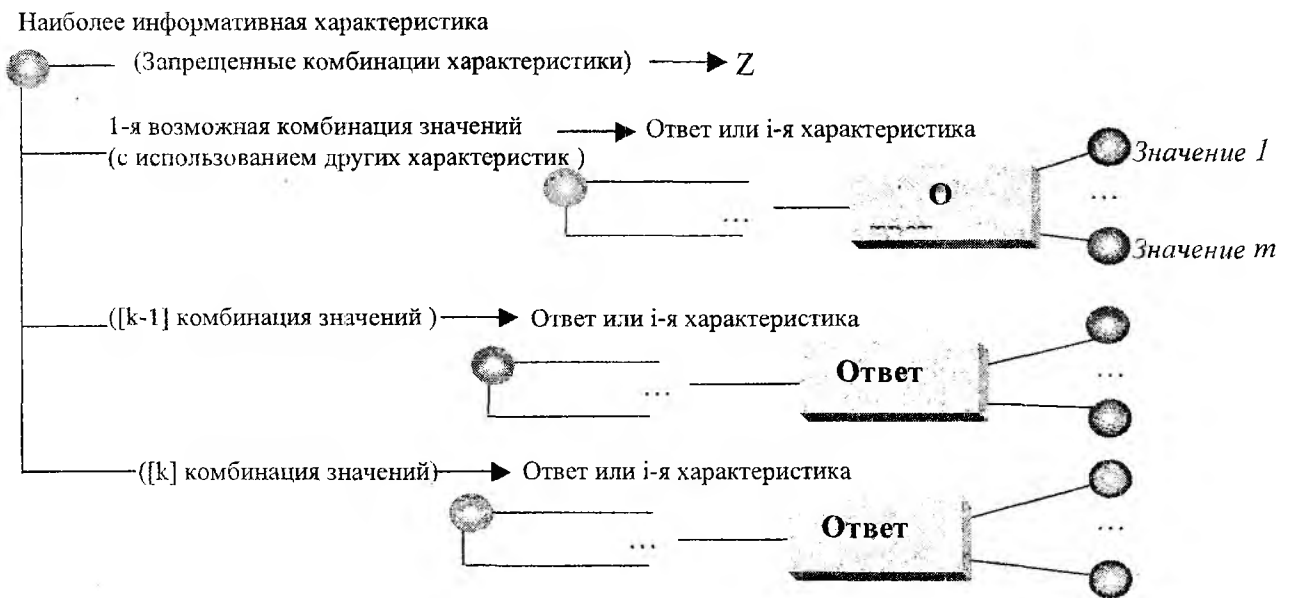


Рис. 1. Общий вид сети рассуждений

Где  $Z$  – запретная комбинация характеристик исследуемого объекта, Ответ – предлагаемое решение по исследуемому объекту,

Под выражением (Ответ) или (Признак  $n$ ) подразумевается выдача предполагаемого решения в случае, когда ранее заданных значений характеристик достаточно для выдачи ответа, или задание вопроса о значении  $n$ -той характеристики в противоположном случае.

Качество найденного древовидного правила принятия знаниеориентированных решений характеризуется заданным пороговым значением математического ожидания  $M_s^*$  достоверности используемых для формирования БкЗ запретных закономерностей.

**Практическая реализация.** Подсистема генерирования сети рассуждений является универсальной и применима к решению ряда выделенных проблем. Функциональная схема интеллектуального блока представлена на рис. 2.

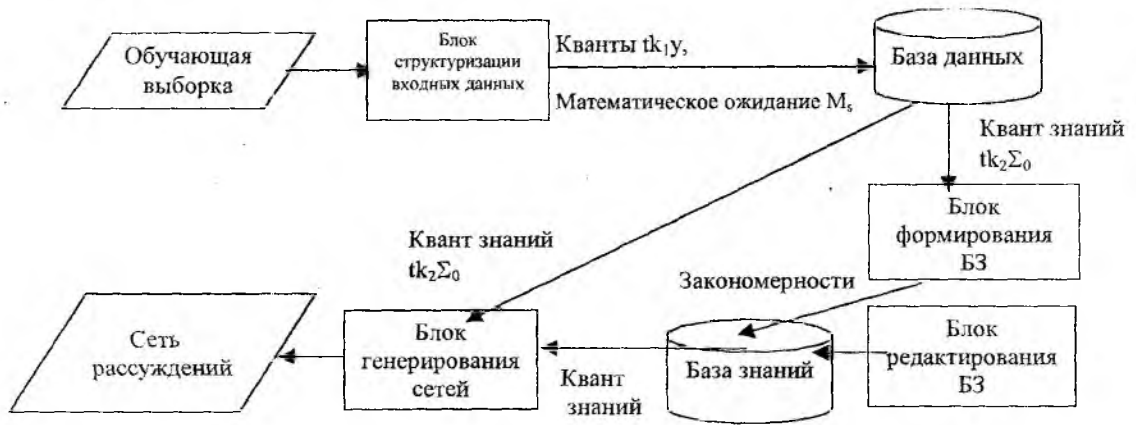


Рис. 2. Функциональная схема интеллектуального блока

### Пример работы системы поддержки принятия технологических решений

Для принятия технологических решений при изготовлении детали требуется задать чертеж детали и дополнительные данные. На рисунке 3 приведен пример задания исходных данных о детали.

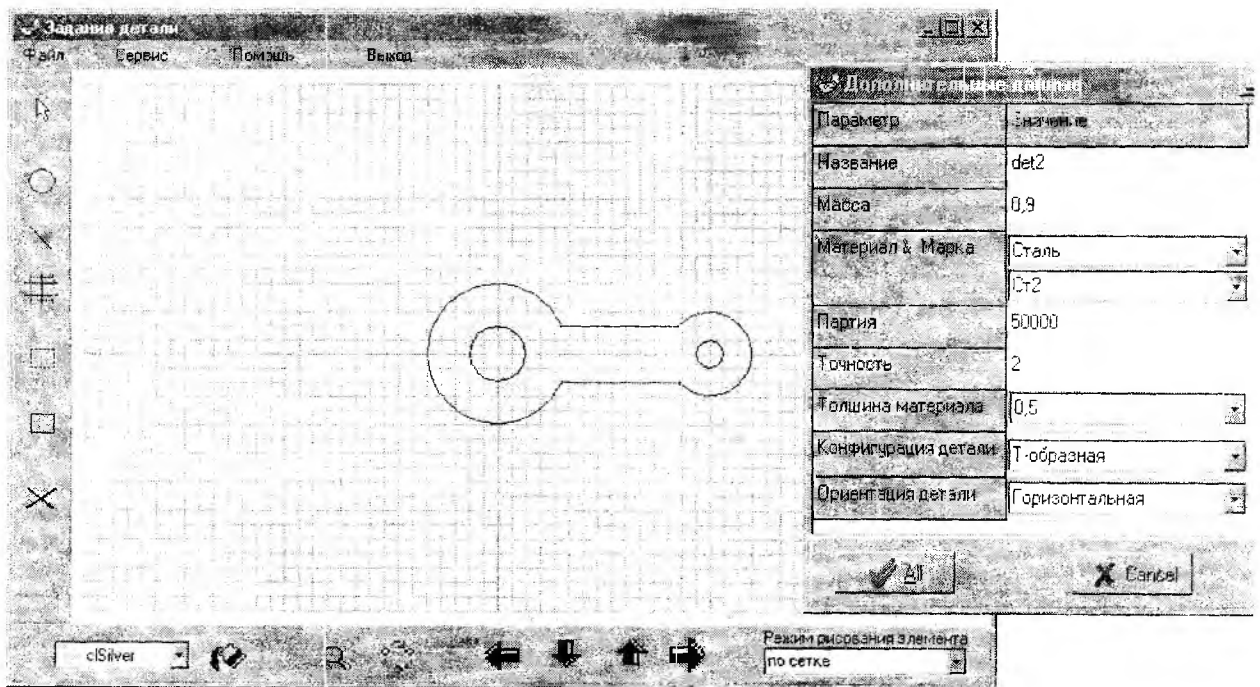


Рис. 3. Задание исходных данных о детали

На рис.4 приведен пример выполнения СППР. В представленном примере интеллектуальный блок был использован дважды: для выбора типа раскроя и для выбора совмещенности операций в штампе.

Для выбора типа раскроя в качестве характеристик [3, 4] были взяты:

1. Конфигурация (простая, Г-образная, ТПШ-образная)
2. Размер (крупная, средняя, маленькая)
3. Тип производства (серийное, крупносерийное, массовое)
4. Тип раскроя (Прямой, Наклонный, Встречный, Многорядный)

Математическое ожидание случайности Бкз  $M_s = 0.001$ . Сформированная сеть рассуждений представлена на рис.5

Для выбора совмещенности операций в штампе в качестве характеристик [3, 4] были взяты:

1. Количество операций (одна, несколько);

2. Тип производства (серийное, крупносерийное, массовое);
3. Точность (пониженная, средняя, повышенная);
4. Размеры детали (мелкая, средняя, крупная);
5. Конфигурация детали (простая, сложная);
6. Тип штампа (простой, совмещенного действия, последовательного действия)

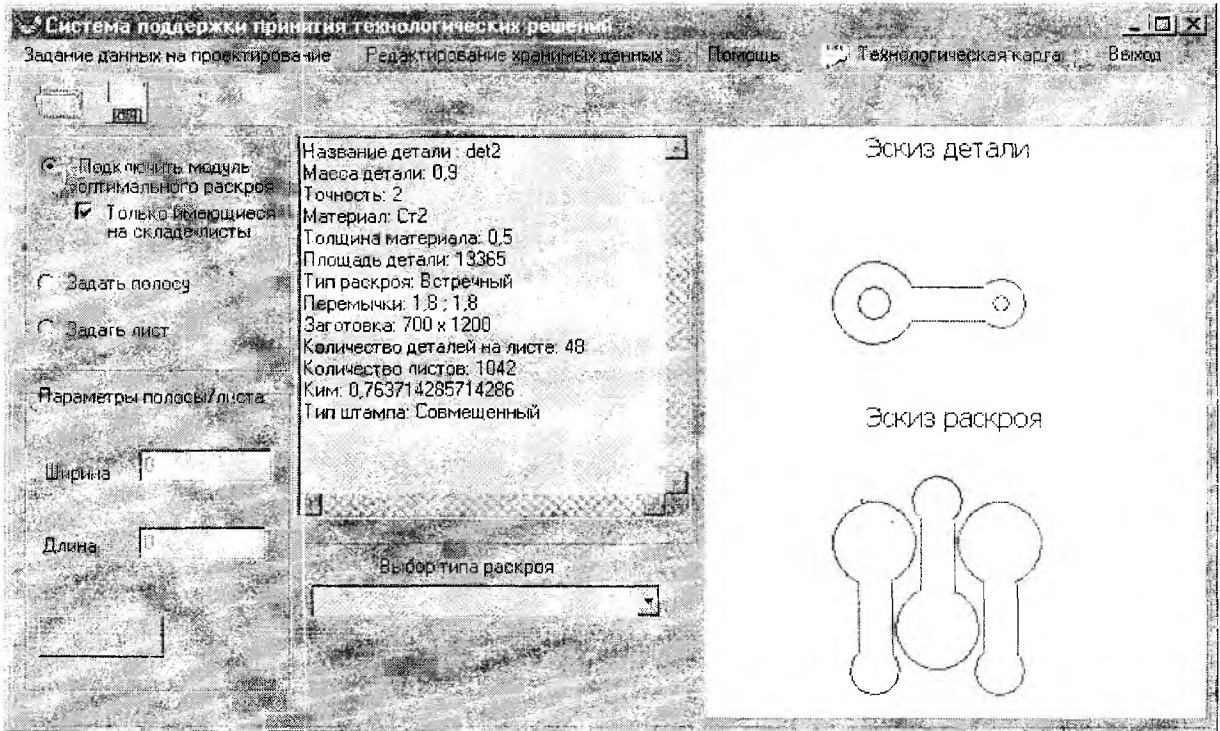


Рис.4. Пример выполнения системы поддержки принятия технологических решений

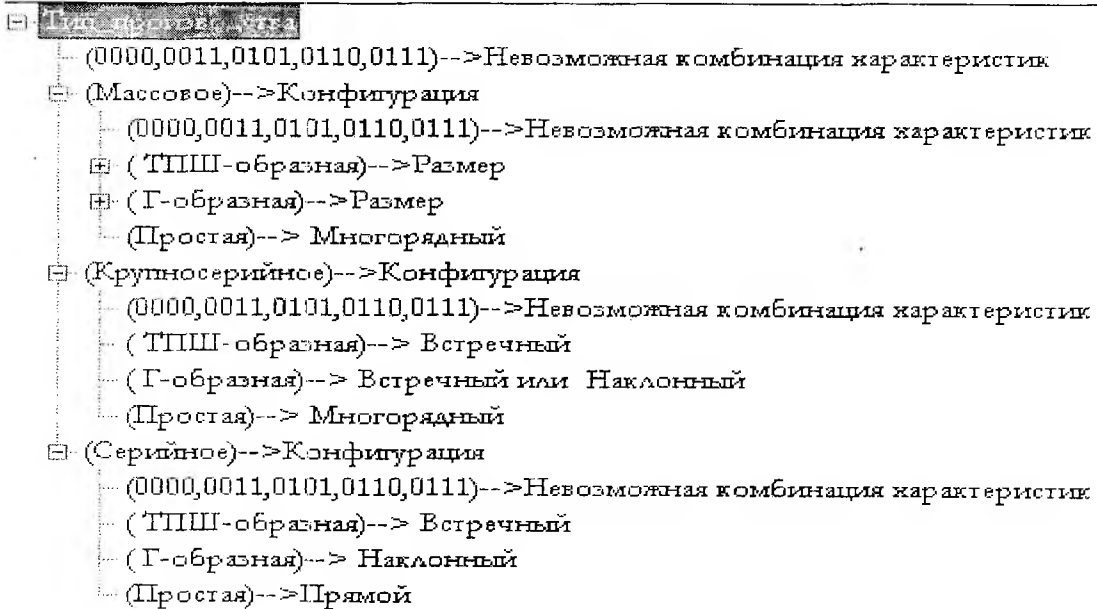


Рис. 5. Сеть рассуждений для выбора типа раскроя

Заданное пороговое значение математического ожидания случайности Бкз  $M_s = 0.001$ . Достоверность найденных закономерностей, составляющих БкЗ, можно вычислить следующим образом:  $R_b = 1 - M_s$ ,  $R_b = 0,999$ . Сформированная сеть рассуждений представлена на рис.6.

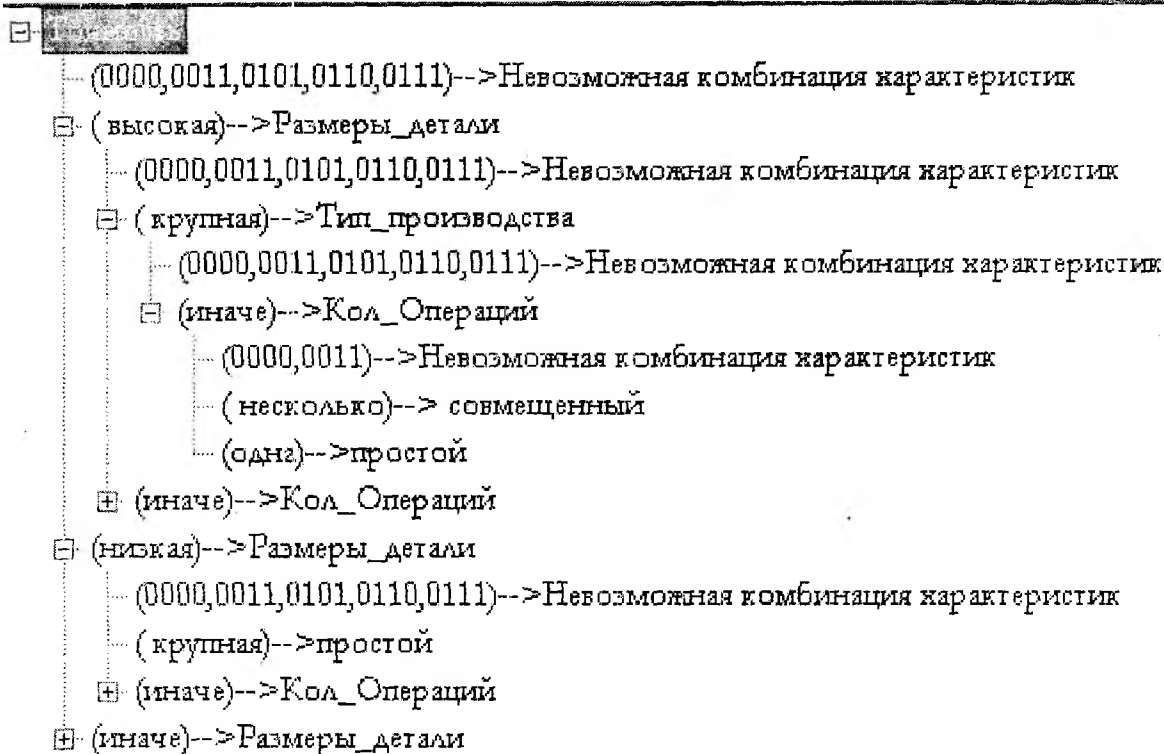


Рис. 6. Сеть рассуждений для выбора совмещенности операций в штампе

Результатом работы системы является автоматически сгенерированная технологическая карта листовой штамповки для заданной детали. Сгенерированная системой технологическая карта листовой штамповки для заданной детали представлена на рисунке 7.

Технологическая карта холодной штамповки						Лист № 1	Изменения в технологической карте		Деталь №			
Марка материала	Размеры заготовки и детали, мм	вес детали, кг	вес заготовки на 1 деталь, кг	вес отходов на 1 деталь, кг	% отходов	№	дата	подпись	наименование изделия			
Ст2	700 x 1200	0,9	1,112657145	0,212657145	23,63%				дет2			
Эскиз детали			Эскиз раскроя						Количество деталей на 1 издании			
									1			
									Количество деталей на годовую программу			
									50000			
№ операции	Наименование операции	Описание операции и условия	Оборудование		тип детали, полуфабрикат	коэффициент расхода на 1 деталь, мм	производительность, шт/ч	количество заготовок, шт/заготовку	размер работы	количество работы	расход на деталь, грм	примечание
1	разрез на ленточки											
2	штамповка				совмещенный							

Рис. 7 Технологическая карта листовой штамповки для заданной детали

Как видно из рисунка, система автоматически сгенерировала технологические параметры, необходимые для изготовления заданной детали. В поля «марка материала», «вес», «название детали» и «количество деталей на одно изделие» занесены известные данные. Размеры выбранной заготовки и вычисленные процент отходов, вес заготовки на одну деталь и вес отходов на одну деталь внесены в соответствующие поля. В поля «эскиз детали» и «эскиз раскроя» помещены соответствующие сгенерированные системой эскизы. Строчки, назначающие операции, заполнены не полностью, т.к. в данном примере не демонстрируется работа блока выбора оборудования.

**Список литературы.** 1. *Сироджа И.Б.* Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке и нечеткости данных. Киев 2000. 2. *Сироджа И.Б.* Математическое и программное обеспечение интеллектуальных и компьютерных систем. Ч.1. Харьков 1992. 3. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение 1979. 4. *Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка* / Под. ред. Л.И. Рудмана. М.: Машиностроение, 1988.

*Поступила в редколлегию 20.03.2002.*

УДК 004.032.26

Т. Н СУЛИМА, У. И. ЛЕСОВИК

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПОДРОСТКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕДИКО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

### 1. Актуальность и задачи прогнозирования

Одним из направлений медицинской информатики является использование новых информационных технологий для прогнозирования возможного развития ряда наследственных болезней. Информация о предрасположенности к тому или иному заболеванию может быть получена в результате медико-генетического обследования. Основными объектами такого обследования являются хромосомы, антигены системы HLA, а также с недавнего времени рисунок кожи ладоней [1]. Использование дактилоскопии, как частного случая дерматоглифического обследования для идентификации личности, известно уже давно. Однако диагностические возможности этого метода в медицине расширяются по мере выявления характерных рисунков гребешковой кожи (дерматоглифических маркеров), качественно и количественно связанных с развитием тех или иных заболеваний. Объем информации о дерматоглифических маркерах непрерывно увеличивается. Актуальным является создание экспертных систем, использующих накопленные в этой области знания.

В последнее десятилетие нейронные сети (НС) нашли широкое применение в медицинской информатике для решения различных задач классификации и прогнозирования благодаря их способности эффективно строить нелинейные регрессионные зависимости [2].

Как известно для решения задач прогнозирования НС должна быть обучена на некоторой выборке данных, содержащих «знание» о прогнозируемом объекте.

В данной работе в качестве обучающей выборки использовалась база данных (БД) с результатами медико-генетического обследования подростков с диагнозом – задержка полового развития и подростков с нормальным процессом полового развития. БД получена в результате периодического обследования пациентов Харьковского Института охраны здоровья детей и подростков А.Н. Украины в течении пяти лет.

Для медико-генетического обследования использовалась методика анализа дерматоглифических оттисков по Cummins [3], с учетом унифицированной Лондонской классификации по дерматоглифике. Тот факт, что у больных с задержкой полового развития, (ЗПР) существует специфический дерматоглифический рисунок, был установлен ст. н. сотрудником Института охраны здоровья детей и подростков канд. биол. наук Багацкой Н.В. и опубликован ею в ряде статей [4].

Для прогнозирования ЗПР мы применили методику обучения компьютерных НС в среде программы NeuroPro v 0.25, созданной сотрудниками группы “НейроКомп”, лаборатории моделирования неравновесных систем ВЦК СО РАН г. Красноярск [5,6].

В данной работе в качестве входных данных (входных сигналов) для построения НС модели используются результаты дерматоглифического обследования, а в качестве выходных данных – поставленный специалистом-эндокринологом диагноз.

В ходе данной работы с помощью пакета NeuroPro 0.25 были построены две НС, исследованы основные их свойства – чувствительность и специфичность, приведен сравнительный анализ прогнозирующей способности этих двух сетей и сделан вывод о нецелесообразности предварительной статистической обработки данных, а именно построения факторной модели.

### 2. Чувствительность и специфичность НС

Поясним, в каких параметрах оценивается качество диагноза в общем случае. Статистика такова [6]: врач правильно диагностирует инфаркт миокарда у 88% больных и ошибочно ставит этот диагноз в 29% случаев. Ложных тревог (гипердиагностики) очень много. История применения различных методов обработки данных для повышения качества диагностики насчитывает десятилетия, однако лучший из них помог сократить число случаев гипердиагностики лишь на 3%.

Предположим, что из ста подростков, у которых действительно наблюдается ЗПР, диагностический метод позволяет обнаружить заболевание у девяноста. Тогда чувствительность метода составит 90%. Если же мы возьмем сто подростков, у которых ЗПР нет, а метод диагностики определит его у тридцати пяти пациентов, то доля ложных тревог составит 35%, при этом дополнительная к нему ха-

рактика - специфичность метода - будет равна 65%. Идеальный метод диагностики должен иметь стопроцентную чувствительность и специфичность. В действительности стремление обеспечить, прежде всего, стопроцентную чувствительность метода - нельзя пропускать заболевание, обнаруживается, как правило, низкой специфичностью этого же метода - у многих пациентов врачи подозревают заболевания, которыми на самом деле они не страдают.

### 3. Описание БД

В работе использованы результаты медико-генетического обследования подростков с диагнозом – ЗПР (270 человек) и подростков нормальным процессом полового развития (90 человек), которые рассматриваются как два выходных класса на множествах 0 – «здоровые», 1 – «предполагаемые больные». Информация сконцентрирована в 28 столбцах (по количеству дерматоглифических маркеров) и 360 строках электронной таблицы формата \*.dbf (табл.1). В каждой строке таблицы находится информация о подростке, полученная из историй болезни. Столбцы содержат дерматоглифические маркеры, свидетельствующие о симптомах ЗПР.

Таблица 1

Пациенты (1-360)	Дерматоглифические маркеры (1-28)																Признак ЗПР
	ad	ct	bt	at	ad2	ct2	bt2	at2	....	bc	cd	a	ab2	bc2	cd2	a2	OUT
Ф.И.О.									....								
Иванов Сергей	51	43	56	57	50	65	70	72	....	33	31	20	43	35	36	23	1
Сименко Роман	49	75	81	79	48	86	90	84	....	12	24	15	34	10	28	13	1
Романенко Максим	45	65	68	15	41	65	69	12	....	13	31	19	23	19	32	16	1
Иванов Антон	49	75	76	65	48	73	75	65	....	36	34	17	35	37	36	19	1
....									....								....
Краснов Андрей	50	74	73	61	48	72	71	60	....	31	35	22	32	30	33	21	1
Литовка Сергей	56	69	73	72	56	86	92	89	....	25	25	16	40	35	22	17	0
Матвеев Павел	54	89	95	93	56	91	95	92	....	14	29	16	36	22	39	22	0
Лодяной Сергей	55	79	83	83	53	80	84	81	....	31	40	19	33	26	36	21	0
Мацокин Роман	53	58	64	66	55	49	56	62	....	20	32	18	42	26	36	25	0

В ходе работы данные были разделены на тестирующую и обучающую выборки. Рассматривались три варианта обучающих и тестирующих выборок (табл.2).

Таблица 2

	Обучающая выборка (с ЗПР/без ЗПР), кол-во	Тестовая выборка (с ЗПР/без ЗПР), кол-во	Правильные результаты (с ЗПР/без ЗПР), %
1 –я выборка	250/ 60	20/30	90/67
2 –я выборка	220/80	50/10	86/80
3 –я выборка	170/60	100/30	86/63

В процессе обучения было определено, что при увеличении обучающей выборки за счет данных с ЗПР способность НС распознавать больных с ЗПР увеличивается, но при этом ухудшается способность НС распознавать здоровых. Поэтому для дальнейшего исследования была выбрана вторая выборка.

### 4. Структура НС

#### 4.1 Выбор величины характеристики искусственных нейронов.

В качестве активационной функции искусственного нейрона использовался нелинейный сигмоидный преобразователь

$$f(x) = \frac{x}{C + |x|}$$

где  $x$  – сигнал, поступающий с выхода сумматора искусственного нейрона;  
 $C$  – константа – параметр крутизны сигмоиды.

Функция с малым значением  $C$  – обеспечивает относительно большую разность между преобразованными сигналами, которые до преобразования находились или на значительном расстоянии друг от друга, или группировались в зоне наиболее крутого участка функции (см. рис.1) [2].

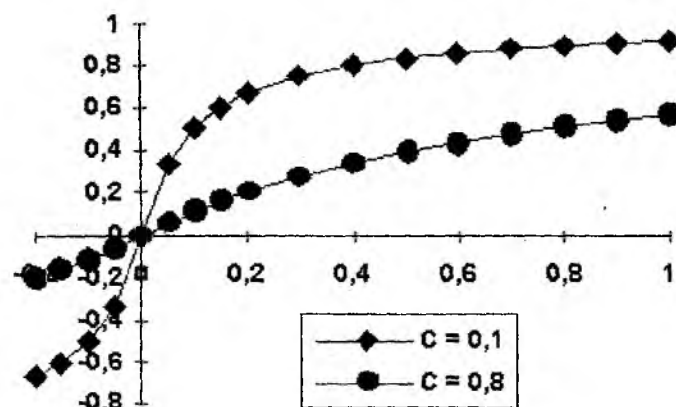


Рис. 1. Схема изменения сигнала при прохождении через нейрон в зависимости от величины  $C$ .

Функция с большим значением  $C$  лучше разделяет сигналы, попадающие в крайние зоны и находящиеся на небольшом расстоянии друг от друга. Значительная часть медико-биологических параметров подчиняется закону нормального распределения или же носят дискретный характер. Поэтому НС с малой характеристикой искусственного нейрона обучаются на данных быстрее, особенно, если в задаче выходные классы легко разделимы в пространстве входных параметров. НС с большей характеристикой обладают значительно лучшими экстраполяционными способностями, хотя и медленнее обучаются.

Эффективно начинать процесс обучения НС с небольшим значением  $C$ , а при успешном обучении генерировать и обучать новые сети, увеличивая этот параметр. Рекомендуем диапазон значений характеристики от 0,1 до 0,8 [8]. В данной работе использованы НС с характеристикой  $C = 0,1$ .

#### 4.2 Нормирование входных сигналов.

Нормирование входных сигналов представляет собой один из видов предобработки и является исключительно важным в методологии создания нейросетевых систем. При нормировании на входной синапс подается не величина параметра (для данного примера), а ее эквивалент, полученный путем пересчета по определенной схеме. Применяется нормирование входных сигналов на диапазон  $[-1;1]$ . В результате проводимых [2] многочисленных экспериментов было установлено, что наиболее универсальной и быстро обучающейся архитектуре полносвязной сигмоидной НС соответствуют значения входных сигналов в диапазоне  $[-1;1]$ . При расширении этого диапазона происходит сначала практически незаметное, плавное, а затем быстро нарастающее снижение скорости обучения, при значительно различающихся диапазонах у разных примеров обучающей выборки.

В работе автоматическое нормирование входных сигналов на диапазон  $[-1;1]$  было реализовано в среде NeuroPro v 0.25.

#### 4.3 Выбор числа искусственных нейронов.

Число искусственных нейронов в слоях может быть различным и не зависеть от числа входных и выходных сигналов сети. Этот параметр определяет суммарное количество синаптических связей НС. Для полносвязной НС оно равно квадрату числа нейронов. Если сеть использует адаптивную матрицу входных сигналов, общее число подстраиваемых связей равно квадрату числа искусственных нейронов плюс произведение числа входных синапсов и плотности подачи входных сигналов (на сколько искусственных нейронов подается каждый входной сигнал).

Оптимальное количество искусственных нейронов во многом зависит от решаемой задачи. Большее число нейронов повышает гарантию успешного обучения, но увеличивает размер НС, а значит, время ее срабатывания при тесте и время ее загрузки с диска компьютера в память. В общем случае, число искусственных нейронов может быть равно числу обучающих параметров. Предлагают использовать количество искусственных нейронов равное сумме числа обучающих параметров и ко-

личества классов в задаче [5]. Если набор входных параметров избыточен (предполагается, что для обучения можно обойтись лишь частью этого набора) можно задавать число искусственных нейронов меньшим.

Для выбора числа искусственных нейронов предлагается две технологии[5]:

I-й вариант: “снизу вверх” – инициализируется и обучается НС с небольшим количеством нейронов. (например, тремя). При невозможности обучения, в зависимости от суммарной оценки и количества входных синапсов рассчитывается новое, увеличенное количество нейронов. Затем инициализируется и обучается новая НС, повторяющая параметры предыдущей, но с большим числом нейронов. Процесс повторяется до тех пор, пока какая-либо из сетей не обучится полностью. Недостатком метода является увеличение времени, затрачиваемого на обучение. Преимущества – разработчику нет необходимости экспериментировать с различным количеством нейронов. Кроме того, предлагаемый способ позволяет избежать создания избыточной сети, которая может быстро и хорошо обучиться на обучающей выборке, но при этом будет обладать низкой экстраполяционной способностью.

II-й вариант: “сверху вниз” – создание НС с большим количеством нейронов, и последующим упрощением сети. Этот вариант успешно применяется в пакете NeuroPro v 0.25, так как в нем реализована возможность упрощения сети. Данный вариант начинается с предлагаемой программой структуры, а затем, в случае обучаемости НС, можно попытаться ее упростить (т.е. сократить число нейронов сети, и далее, если возможно, сократить число входных сигналов). При наличии определенных практических требований или теоретических посылок можно создать новую НС с меньшими размерами и учетом имеющихся требований.

#### 4.4 Выбор архитектуры.

В данной работе использовались полносвязные НС по следующим причинам:

- при одинаковом числе нейронов полносвязные сети имеют большее количество межнейронных связей. Это увеличивает информационную емкость сети;
- полносвязная архитектура является намного более универсальной, что не требует экспериментов с вариациями схемы соединений для каждого случая;
- при моделировании НС на универсальной ЭВМ полносвязные сети обладают серьезными преимуществами, прежде всего в скорости функционирования и простоте программной реализации при сохранении качества обучаемости.

Пакет NeuroPro v 0.25 позволяет строить полносвязные многослойные сети без обратной связи (feedforward networks).

### 5. Обучение

Для обучения применен имеющийся в арсенале NeuroPro v 0.25 алгоритм обратного распространения ошибки (back-propagation)[5]. Этот алгоритм применяется для обучения полносвязных сетей прямого распространения. Оптимизация проводится по методу сопряженных градиентов[8].

Обучение НС проводится на задачнике – наборе векторов данных. В каждом векторе данных определены наборы входных сигналов, и соответствующие им выходные. Обучение сети строится как минимизация некоторой функции несоответствия между действительными и требуемыми выходными значениями сигналов. Минимизируется суммарная функция несоответствия по всем векторам обучающего множества. Минимизация происходит путем такой подстройки обучаемых параметров сети (веса синапсов), с целью выдачи выходных сигналов, наиболее близких к требуемым. Минимизация производится для каждого обучающего вектора (примера БД) циклически. На каждом цикле обучения вектор получает оценку на соответствие действительных выходных значений сигналов и требуемых. Дополнительно вычисляется суммарная оценка всех векторов обучающей выборки. Если после прохождения нескольких циклов она равна нулю, обучение считается законченным, в противном случае циклы повторяются. Обучение прекращается при достижении нулевого значения средней оценки на задачнике, в случае невозможности дальнейшего улучшения оценки либо при аварийных ситуациях.

### 6. Основные этапы работы

В качестве методических подходов к решению нашей задачи были использованы два варианта тактики обучения НС – ненаблюдаемое (неконтролируемое) и наблюдаемое (контролируемое) обучение.

Тактика ненаблюдаемого обучения состояла в том, что в качестве входных сигналов использовались численные значения всех 28 дерматоглифических маркеров(параметров) НС, имеющихся в БД.

Тактика наблюдаемого обучения состояла в том, что для обучения сети из 28 входных параметров были выбраны 19 наиболее информативных, заведомо известных как маркеры данного вида заболевания. Информация об этом была получена на основании предварительно построенной факторной модели [7].

В результате были разработаны две сети с разным количеством входных параметров. Назовем сеть, разрабатываемую по тактике ненаблюдаемого обучения – Сеть1, а по тактике наблюдаемого обучения – Сеть2. При создании Сети1, была выбрана структура из двух скрытых слоев, в каждом по четыре искусственных нейрона. Далее была проведена, имеющаяся в арсенале программы NeuroPro, процедура упрощения, в результате которой удалось сократить один искусственный нейрон и удалить незначимые входные параметры, исключение которых не ухудшает прогнозирующую способность сети. Подобные изменения наблюдались и при упрощении Сети2.

Сравнительные результаты анализа двух НС структур, полученных после процедуры упрощения, а также вычисленные в ходе тестирования значения специфичности и чувствительности приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты обучения	Сеть1	Сеть2
1. Число слоев	2	2
2. Число входных параметров	21	18
3. Число искусственных нейронов в скрытых слоях	4 -3	4 -4
4. Крутизна сигмоиды	0,1	0,1
Результаты тестирования		
1. Всего правильно, %	85	78
2. Специфичность, %	80	70
3. Чувствительность, %	86	80

Структуры сетей изображены на рисунках 2 и 3.

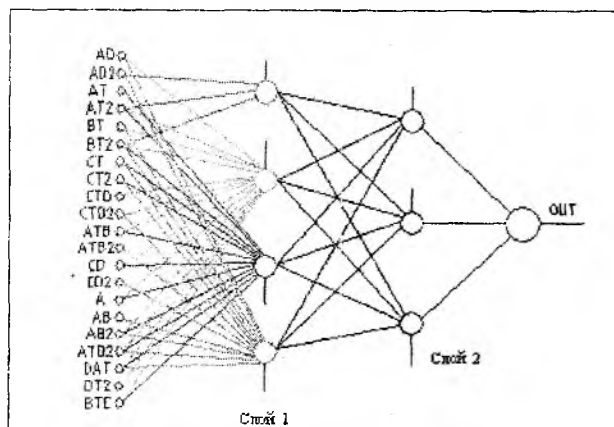


Рис. 2. Сеть 1

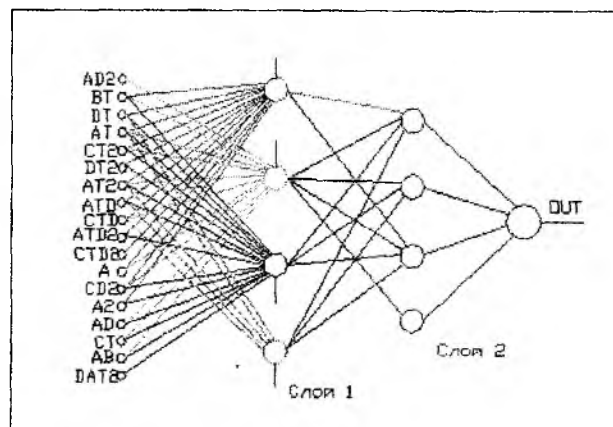


Рис. 3. Сеть 2

### Выводы

В работе исследована зависимость специфичности и чувствительности НС от величины обучающей выборки и соотношения в ней подростков с ЗПР и без него. Показано, что сеть дает невысокие результаты распознавания в случае существенного различия в количестве примеров каждого класса больных и здоровых. Прогнозирующая способность сети зависит не только от объема обучающей выборки, но и от соотношения в ней примеров каждого класса.

Сравнение двух тактик обучения выявило более низкую прогнозирующую способность Сети2 по сравнению с Сетью1. Это означает, что при создании нейросетевых систем не требуется предварительная статистическая обработка входных данных.

На примере применения двух тактик обучения можно сделать вывод о неоднозначности нейросетевого решения. Так как при создании новой НС в памяти компьютера отводится место под массив синаптических весов и этот массив заполняется случайными числами из определенного диапазона, поэтому каждая созданная сеть при одних и тех же параметрах (число нейронов, их характеристика) является уникальной. Уникальность сетей проявляется в том, что сети с одинаковыми параметрами, обучающиеся на одинаковых задачах, ведут себя неодинаково.

НС представляют собой нелинейные системы, позволяющие гораздо лучше классифицировать данные, чем обычно используемые линейные методы. В приложении к прогнозированию возможных заболеваний они дают возможность значительно повысить специфичность метода, не снижая его чувствительности. С помощью нейросетевой технологии можно создавать экспертные системы по прогнозированию медико-генетических патологий. Добавляя в БД новые примеры, можно улучшать специфичность и чувствительность НС.

**Список литературы:** 1. Гусева И.С. Морфогенез и генетика гребешковой кожи. Минск: Беларусь, 1986. 158 с. 2. Haykin S. Neural Networks, A Comprehensive Foundation. New York: Macmillan College Publishing Company. 1994. 678 p. 3. Cummins H., Midlo Ch. Finger prints palms and soles: A introduction to dermatoglyphics. Philadelphia. 1961. 298 p. 4. Багацкая Н.В. Анализ пальцевой и ладонной дерматоглифики при задержке полового созревания у мальчиков подростков. // Проблемы екологічної та медичної генетики і клінічної імунології. 2000. №.2(28). С.37-42 5. Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск.: "Наука", 1996. 276 с. 6. Россиев Д.А., Головенкин С.Е., Шульман В.А., Матюшин Г.В. Прогнозирование осложнений инфаркта миокарда нейронными сетями. // Нейроинформатика и ее приложения. Материалы III Всероссийского рабочего семинара. 6-8 октября 1995 г. Красноярск. 1995. С.128-166. 7. Багацкая Н.В. О корреляционных связях между некоторыми генетическими признаками при задержке полового развития у мальчиков – подростков // Проблемы медичної науки та освіти. 2002. № 1. С.49-548. 8. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. М.: изд. СССР-США СП "ParaGraph", 1990. 160 с.

Поступила в редколлегию 30.05.2002.

УДК 573.6.086.83; 615.47

К. Л. ХРУСТАЛЕВ, Д. В. СНЕЖКО, Н. Н. РОЖИЦКИЙ

## ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ БИМЕДИЦИНСКОГО ЗНАЧЕНИЯ

Работа посвящена рассмотрению вопросов, связанных с разработкой метода и технологии электрохемилюминесцентным (ЭХЛ) определения биологически важных веществ в жидких объектах.

Люминесценция представляет особый интерес для биологии и медицины, в частности, для медицинской диагностики. По этому оптическому каналу возможно получение уникальной информации о механизмах биофизических и биохимических процессов, протекающих на уровне молекул и свободных радикалов, и имеющих первостепенное значение для жизнедеятельности клеток, тканей, органов организма. Люминесцентные методы анализа, к которым относятся также хемилюминесцентные (ХЛ) и электрохемилюминесцентные (ЭХЛ), успешно применяют при исследовании циркуляции крови, проходимости сосудов, для контроля фармакокинетики лекарственных препаратов и др. В силу сравнительной новизны явления ЭХЛ, а, тем более, практического применения собственно ЭХЛ-анализа (ЭХЛА) [1,2], весьма актуальными являются разработка системного подхода к созданию новых аналитических ЭХЛ-методов определения веществ биомедицинского значения, а также соответствующих устройств. К сожалению, подобный подход в литературе практически не освещен.

В общем, аналитический процесс состоит из последовательности операций, с помощью которых субъект исследования получает качественную и количественную информацию об объекте исследования: его свойствах, закономерностях функционирования, внешних и внутренних взаимосвязях. При этом важную роль играют такие понятия, как принцип анализа, метод анализа и алгоритм выполнения (технология) анализа. Наглядно представить соотношение этих стадий и собственно понятий в аналитическом процессе, учитывая известные основные стадии такого процесса, можно следующим образом (см. рис.1) [1].

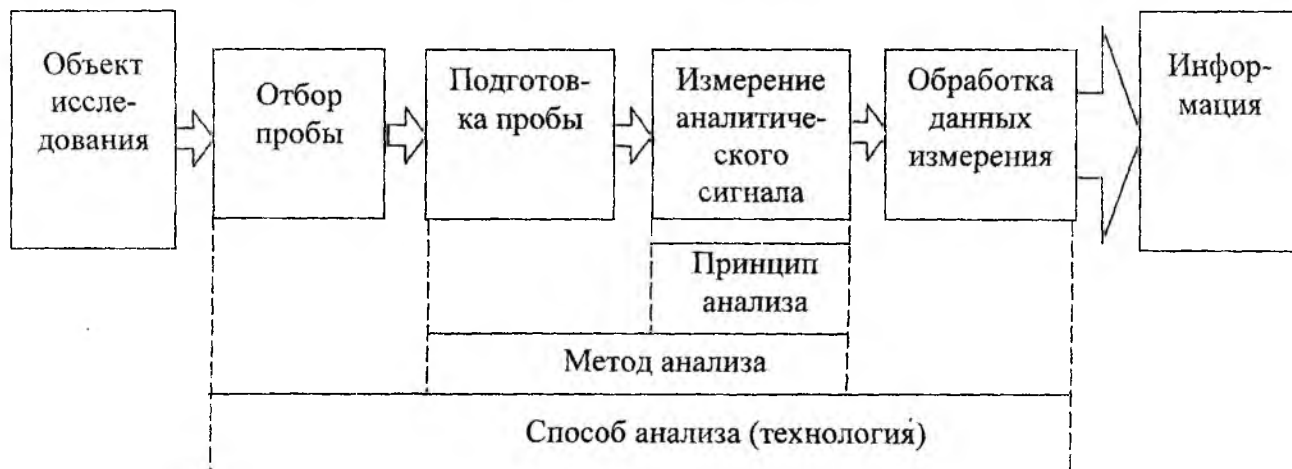


Рис. 1. Основные стадии информационного аналитического процесса.

Очевидно, что именно принцип анализа, базирующийся на фундаментальных физических и химических явлениях, лежит в основе всего аналитического процесса получения информации об объекте исследования. В рамках аналитического процесса принцип анализа обуславливает природу аналитического сигнала, несущего в себе качественную и количественную информацию об объекте исследования. Однако, при использовании общих принципов (положений) анализа, хорошо известных теоретически и подтвержденных экспериментально, узким местом остается применение данных принципов к конкретному объекту, а также достоверность получаемой информации. Адекватное решение первой проблемы тем или иным способом в совокупности приведет к разработке метода анализа. Решение же общей задачи по алгоритму: 1) выбор принципа анализа; 2) выбор метода анализа; 3) исследования модельной аналитической системы; 4) выбор процедуры пробоотбора и проподготовки; 5) обработка получаемой информации в итоге приведет к разработке новой технологии анализа. Положив в основу технологии какое-либо явление, необходимо, по возможности, наиболее эффективно

его использовать для получения максимально достоверной качественной и количественной информации об объекте анализа. В этом плане важнейшую роль играет то, как построена технология, каков метод анализа. Так, например, используя при анализе одно и то же физическое явление, но разные методы и технологии, можно получить совершенно различную информацию об объекте, различающуюся и количественно, и качественно.

В данной работе принцип анализа характеризуется использованием явления электрохемилюминесценции (ЭХЛ) для получения аналитической информации. Принцип ЭХЛ основан на воздействии – электролизе, которому подвергают объект с целью получения выходного оптического аналитического сигнала (люминесценции). Различная реализация конструкции аналитического устройства, способа и алгоритма регистрации аналитического сигнала уже не относится к принципу анализа, а являются элементами метода и технологии анализа.

Метод анализа, разработка которого для принципа ЭХЛ-анализа жидких объектов с компонентами биомедицинского значения – это общая стратегия получения информации об объекте исследования, основу которой составляет принцип анализа. Таким образом, метод анализа предписывает ход анализа в общих чертах, т.е. характерные моменты подготовки пробы, измерения и обработки результатов. Однако определяющим во многом результатом проводимых исследований остается технология анализа.

Технология или способ выполнения анализа подробно определяет ход анализа: пробоотбор, пробоподготовку, систему регистрации, метод обработки и интерпретацию получаемых данных с целью извлечения из них достоверной информации об объекте исследования. Таким образом, технология представляет собой рабочую пропись, содержащую ряд однозначных последовательно выполняемых предписаний.

Рассмотрим, каковыми являются основные стадии способа определения компонентов биомедицинского значения в жидкой среде с помощью ЭХЛ-принципа. Изложение начнем с критического рассмотрения основных приемов, используемых в методах анализа различных проб.

Практически во всех таких методах применяют два основных приема – метод прямых измерений и метод косвенных измерений. В *прямых методах* используется зависимость аналитического сигнала<sup>1</sup>, от объекта исследования (аналита, содержащегося в пробе) от природы измеряемого компонента и его содержания. Свойствами, зависящими от природы аналита, являются, например, длина волны в максимуме спектра его люминесценции, потенциал полуволны в методах вольтамперометрии и др. Это – так называемые качественные характеристики определяемого вещества. Его количественными характеристиками являются интенсивность аналитического сигнала, т.е. интенсивность люминесценции на указанной выше длине волны, величина тока в вольтамперометрических методах и др. Таким образом, при *прямом качественном* анализе регистрируют наличие ожидаемого сигнала аналита в пробе, а при *прямом количественном* – измеряют интенсивность этого сигнала. Связь интенсивности сигнала с содержанием аналита имеет различный характер. В аналитической практике, в том числе в медико-биологических методах, наибольшее распространение получили следующие методы количественного определения компонента путем измерения того или иного физико-химического параметра или характеристики:

- а) метод градуировочного (калибровочного) графика;
- б) метод молярного свойства;
- в) метод стандартных добавок;
- г) метод титрования.

Эти методы основаны на использовании стандартных (модельных) образцов, например, жидких проб. Поэтому при разработке метода и, в дальнейшем, технологии определения гистамина в жидких пробах необходимо сделать адекватный выбор в пользу одного из вышеперечисленных приемов.

### Метод градуировочного графика (ГГ)

В этом методе интенсивность аналитического сигнала  $I$  измеряют у нескольких стандартных (модельных) образцов или жидких проб, после чего осуществляют табулирование результатов и построение ГГ или аналитической функции в виде  $I = f(c_x)$ , где  $c_x$  – содержание определяемого компонента в модельной пробе. Если данная функция не является линейной, то для ее линеаризации (что

<sup>1</sup> Аналитический сигнал – сигнал, содержащий информацию о компонентах (аналитах), находящихся в объектах исследования.

необходимо в методе ГГ) можно использовать логарифмическую форму  $I_g I = I_g c_x$ . После этого в идентичных экспериментальных условиях (устройство, метод возбуждения, температура и пр.) измеряют интенсивность аналитического сигнала у анализируемой пробы и из имеющихся табулированных данных или градуировочного графика определяют содержание аналита в анализируемой пробе. При этом аналит, *a priori*, должен присутствовать в пробе, что достигают применением соответствующих процедур пробоподготовки.

Существенно при этом, что диапазон концентраций на построенном ГГ должен быть не менее диапазона определяемых составляющих аналита, а состав и свойства модельной пробы должен быть максимально близок к аналогичным параметрам анализируемого состава (после процедуры пробоподготовки). Метод ГГ нашел наиболее широкое применение в различных физико-химических определениях, в том числе в биомедицинских задачах, в силу точности, надежности, простоты и т.д. Рассмотрим, однако, и другие методы.

### Метод молярного свойства

В этом методе также проводят измерение интенсивности аналитического сигнала у ряда стандартных проб и рассчитывают так называемое молярное свойство пробы  $M$ , т.е. интенсивность аналитического сигнала, пропорциональную одному молю определяемого компонента  $M = I_x/c_x$ . Затем в тех же условиях измеряют интенсивность аналитического сигнала у анализируемой пробы и по соотношению  $c_x = I_x/M$  рассчитывают концентрацию определяемого компонента. Данный метод является менее распространенным и удобным (более трудоемким), поскольку требует строго линейного вида аналитической функции  $I = f(c_x)$ .

**Метод стандартных добавок** построен на измерении аналитического сигнала пробы, после чего в пробу вводят известное количество измеряемого компонента (стандартный раствор) до концентрации  $c_1$ , затем вновь измеряют интенсивность сигнала. Метод основан на выполнении следующих математических соотношений:

$$I_x = kc_x, \quad (1)$$

$$I_x' = k(c_x + c_1), \quad (2)$$

откуда 
$$c_x = c_1 I_x / (I_x' - I_x), \quad (3)$$

где  $I_x$  – интенсивность аналитического сигнала пробы;

$k$  – коэффициент пропорциональности (чувствительность метода);

$c_x$  – концентрация аналита  $X$ ;

$I_x'$  – интенсивность аналитического сигнала пробы после добавления стандартного раствора;

$c_1$  – концентрация аналита после введения в пробу стандартного раствора.

Метод стандартных добавок, как и метод молярных свойств, является ограниченным по своему применению и сложным для практической реализации.

Данный краткий обзор закончим рассмотрением **метода титрования**. В этом методе (строго говоря, методах) в ходе процедуры, называемой титрованием, измеряют интенсивность аналитического сигнала  $I$ , после чего осуществляют построение кривой титрования или аналитической функции в виде  $I = f(V)$ , где  $V$  – объем добавленного титранта. Из данной кривой находят точку эквивалентности, после чего путем пересчета определяют содержание аналита. Метод титрования является также весьма распространенным, но в тоже время менее удобным с практической точки зрения, в частности, для компьютерной обработки.

**Метод косвенных измерений** используют тогда, когда определяемый компонент обладает либо крайне низким аналитическим сигналом, либо не обладает им вообще. В этом случае для измерения используют специальные реагенты  $R$  (индикаторы, метки, маркеры), более или менее специфически реагирующие с измеряемым компонентом  $X$ .



где  $R^{\cdot-}$  и  $X^{\cdot+}$  – анион- и катион- радикалы  $R$  и  $X$ , соответственно.

Количественно результат реакции выражается в виде интенсивности аналитического сигнала реагента  $I_r$ , причем существенно, что данный сигнал реагента возникает только в результате такой реакции как, например, процесс (4) в случае люминесцентного аналитического сигнала. При этом необходимо заранее знать (или установить) стехиометрию процесса (4), т.е. количественное соотношение между ее реагентами и продуктами. После этого применяют указанные выше методы, где в качестве  $s_x$  выступает также измеряемый компонент, но обнаруживаемый с помощью данного специфичного реагента путем измерения  $I_r$ .

Исходя из проведенного анализа, в качестве метода количественного определения наиболее оптимальным для метода ЭХЛА представляется метод ГГ. Данный метод, в рамках метода косвенного измерения, для построения калибровочной кривой требует выбора адекватного реагента и определения механизма процесса испускания ЭХЛ в модельной аналитической системе определяемый компонент – электрохемилюминофор-реагент. Учитывая сложность, трудоемкость и достаточную дороговизну экспериментов по поиску оптимального реагента, на первый план выдвигается решение задачи путем математического моделирования в рамках микроскопического подхода [3].

После процедуры измерения необходимо провести обработку данных и получить итоговую информацию в виде табулированного материала и ГГ. Таким образом, весь рассмотренный выше аналитический процесс на основе электрохемилюминесцентного принципа анализа может быть представлен в графическом виде на рис.2.

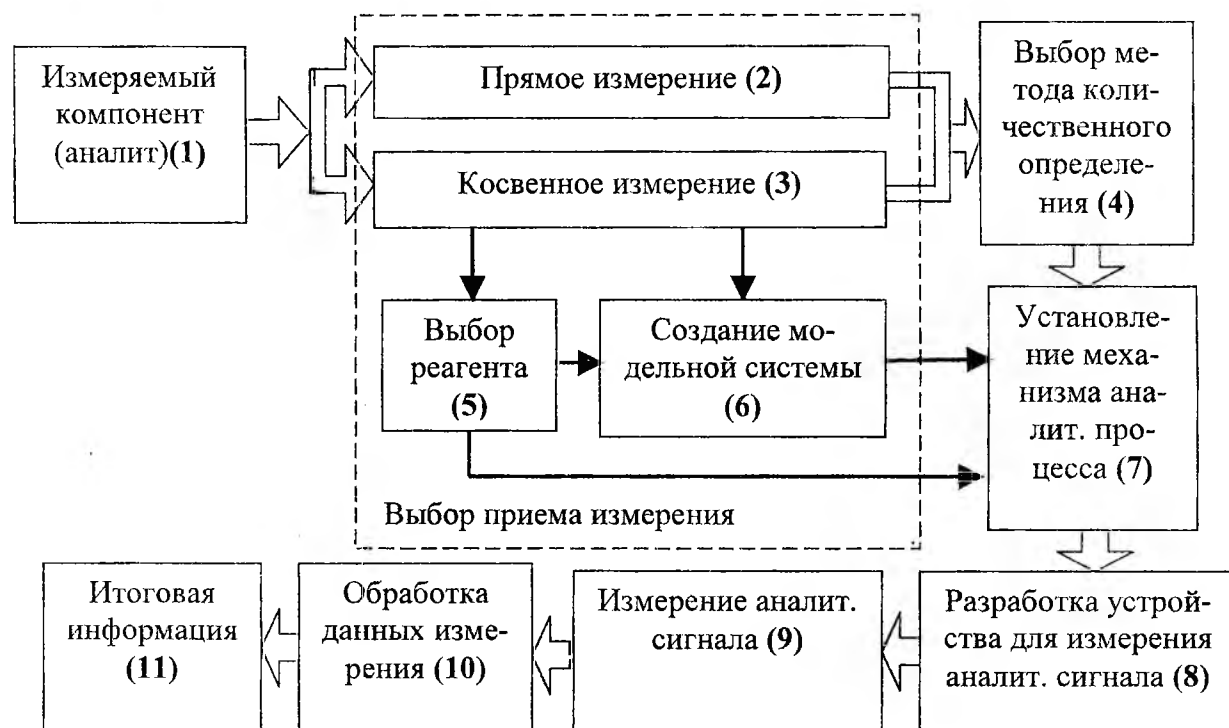


Рис.2. Разработанный метод анализа в рамках аналитического процесса на основе электрохемилюминесцентного принципа анализа.

При распространении разработанного метода анализа на измерение данного компонента в реальной пробе в аналитический процесс, графически изображенный на рис.2, необходимо внести дополнения и изменения, связанные с необходимостью выбора реального объекта анализа, отбора пробы, содержащей измеряемый компонент, и подготовкой пробы к процессу измерения. Рассмотрим эти стадии подробнее.

**Выбор объекта** (стадия 1, а, рис.3). Для адекватного выбора объекта исследования необходимы сведения о его происхождении, предварительная информация о компонентном составе, в том числе о компонентах, мешающих процессу измерения, о требованиях к качеству объекта, целях его применения и т.д. Лишь в этом случае можно выбрать принцип, метод и технологию анализа, оптимальные для достижения поставленной цели (т.е. аналитическое исследование объекта). В данной работе в ка-

честве объекта исследования применялась модельная система, содержащая реагент и аналит, а в реальном биомедицинском анализе в качестве объекта выступают пробы биожидкостей, таких, как кровь, моча и др.

**Пробоотбор** (стадия 1, б, рис.3). Основное требование к отбору пробы гласит: проба должна быть достаточно представительной относительно объекта исследования. Информация, получаемая при анализе пробы, должна быть максимально точным отражением информации, получаемой при анализе объекта исследования в целом, частью которого является данная проба. Строго говоря, это требование выполнимо лишь тогда, когда анализу подвергают весь исследуемый материал. Во всех остальных случаях, т.е. почти всегда, мы имеем дело с большей или меньшей степенью приближения к этому основному условию. Таким образом, в рамках аналитического процесса отбор пробы приобретает особое значение. Очевидно, что даже при весьма тщательной аналитической работе результат анализа допускает выводы только по информации от пробы. А эти выводы согласуются с объективной действительностью лишь настолько, насколько правильно и компетентно произведен отбор пробы.

В принципе эти же рассуждения приложимы к приготовлению в необходимых случаях градуировочных (модельных) проб, представляющих собой как бы идеальные объекты, содержащие данный аналит и, в случае косвенного измерения, реагент.

**Пробоподготовка** (стадия 1, в, рис.3). Лишь очень немногие методы анализа допускают возможность исследования пробы без какой-либо предварительной подготовки, в исходном (нативном) состоянии. Как правило, необходимо превращение пробы в форму, допускающую проведение измерений, используя различные методы разделения веществ [4]. В разработанный метод в качестве неотъемлемых стадий пробоподготовки необходимо включить разделение пробы на отдельные компоненты с целью выбора заданного измеряемого компонента и (в случае косвенного метода) – ввод реагента в пробу, в т.ч. и в виде (моно)пленки электрохемилюминофора, закрепленной на электроде по технологии Лангмюра-Блоджетт.

Схематически данные стадии изображены на рис.3. Отметим, что в технологии анализа реальных проб, основанной на излагаемом методе, необходимо исключить стадию б, рис.2.

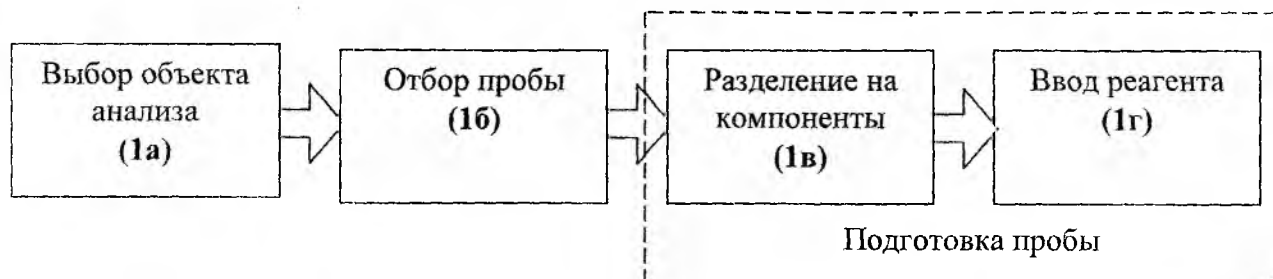


Рис.3. Стадии, включаемые в аналитический процесс при анализе реальных объектов.

Для использования рассмотренного метода в реальных аналитических исследованиях необходимо провести экспериментальный цикл работ по изучению данной модельной систем. В качестве примера реализации предложенного системного подхода к проблеме ЭХЛА рассмотрим результаты исследования модельной аналитической системы антрацен (реагент) + гистамин (измеряемый компонент). Разработка технологии определения гистамина (ГА) методом ЭХЛА проводится впервые и является актуальной в связи с большой ролью ГА в различных процессах *in vivo*. Гистамин является гормоноидом, т.е. действует на большое количество физиологических процессов в организме подобно гормонам, но образуется, в отличие от них, не в железах внутренней секреции, а в других органах и тканях. В обычных условиях ГА находится в организме преимущественно в связанном, неактивном состоянии. При различных патологических процессах (таких, как аллергии, склероз внутренних органов, ожоги, обмороживания) количество свободного ГА увеличивается. Гистамин, освобождающийся под действием различных патогенных факторов (проникающая радиация, бактериальные токсины, гипоксия, травмы, токсические химические вещества – морфин, рентгеноконтрастные препараты, содержащие йод, курареподобные вещества, высокомолекулярные соединения, лекарственные препараты), имеет высокую активность, что приводит к гистаминовому отравлению. С учетом вышеприве-

денного, а также широкого использования препаратов антигистаминового действия в клинической практике, исключительное значение приобретают методы определения ГА.

Аналитические исследования проводили следующим образом. Создавали модельную систему, в состав трех соединений в необходимых содержаниях: аналит (гистамин), электрохемилюминофор-реагент (антрацен) и фоновый электролит - соль  $(C_4H_9)_4ClO_4$ , которые растворяли в органическом растворителе диметилформамиде. В качестве модели разработанного устройства использован аналитический комплекс "ЭЛАН-2м". [5].

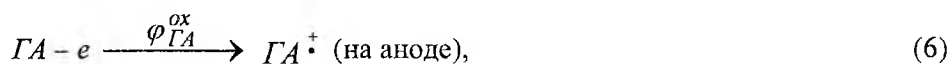
При электролизе пробы генерировали КР гистамина  $GA^{\cdot+}$  и АР реагента  $A^{\cdot-}$ . При проведении предварительных электрохимических измерений было установлено, что указанные вещества имеют следующие потенциалы пиков (см. табл. 1).

Таблица 1

Некоторые физико-химические и спектроскопические свойства электрохемилюминофора-реагента – антрацена и определяемого компонента – гистамина

Свойства	Антрацен	Гистамин
Молекулярная масса	178,2	111,2
Вид	Бесцветные кристаллы, с голубой флуоресценцией	Бесцветные кристаллы, не флуоресцирует
Температура плавления, °К	489	360
Температура кипения, °К	615	430
Квантовый выход ФЛ $\phi$	0,46	–
Потенциал окисления $\varphi^{ox}$ , В	2,12	0,86
Потенциал восстановления $\varphi^{red}$ , В	– 1,29	–
Длина волны ФЛ $\lambda_{ФЛ}$ , нм	412	–
Длина волны ЭХЛ $\lambda_{ЭХЛ}$ , нм	412	–

Исходя из изучения данных эксперимента (табл.1), можно прийти к заключению, что основной стадией ЭХЛ-процесса в ОХ-сенсоре являются рекомбинационные взаимодействия электрогенерированных анион-радикалов антрацена  $A^{\cdot-}$  с катион-радикалами гистамина  $GA^{\cdot+}$ , сопровождающиеся излучением ЭХЛ – оптического аналитического сигнала:



с учетом экспериментально полученного соотношения  $\varphi^{ox}(GA) < \varphi^{ox}(A)^2$ .

Аналитический сигнал, который излучается возбужденными молекулярными состояниями реагента антрацена  $A^*$ , регистрируют как фототок, пропорциональный концентрации аналита  $I_{ecl} = f(c_a)$ . Это позволяет, учитывая стехиометрию реакции (7), количественное определение ГА с помощью ГТ в координатах: интенсивность аналитического сигнала реагента  $I_{ecl}$ , содержание искомого вещества  $c_a$ . Из величины сигнала определяют содержание.

Каждый результат анализа по тем или иным причинам имеет погрешность определения. Исследователь всегда получает лишь приближенное значение определяемой величины. Поэтому завершающей стадией количественного анализа химического состава вещества любым методом является статистическая обработка результатов измерения, которая включает расчет метрологических пара-

<sup>2</sup> Это означает, что реагент  $A$  не вовлекается в анодные процессы окисления ранее определяемого компонента – ГА, и, таким образом, световой аналитический сигнал сенсора обусловлен именно аналитическим процессом (7).

метров анализа таких, как стандартное отклонение, дисперсия, коэффициент корреляции, воспроизводимости, правильность результатов и пр.

Воспроизводимость зависит от случайных погрешностей, чем больше их значение, тем менее «точный» их анализ. Правильность результатов определяется систематическими погрешностями. Метод или методика анализа дадут лишь тогда правильный результат, когда они свободны от систематических погрешностей. Статистическая обработка результатов измерения позволяет оценить, свести к минимум систематические и случайные погрешности результатов измерений.

Наиболее объективной и адекватной методикой построения ГГ является установление математической зависимости  $i_{ecl} = f(c_a)$ , которую находят методом регрессионного анализа. Подробное описание методики статистической обработки экспериментальных данных приведено в [6]. Полученные данные о зависимости интенсивности аналитического сигнала от содержания ГА с целью повышения достоверности подвергались статистической обработке. (Несколько слов об этом) На рис.4 представлен полученный ГГ для системы гистамин-антрацен после процедуры статистической обработки экспериментальных данных измерения электрохемилюминесцентного сигнала аналитической системы гистамин-антрацен при помощи программного пакета MathCAD.

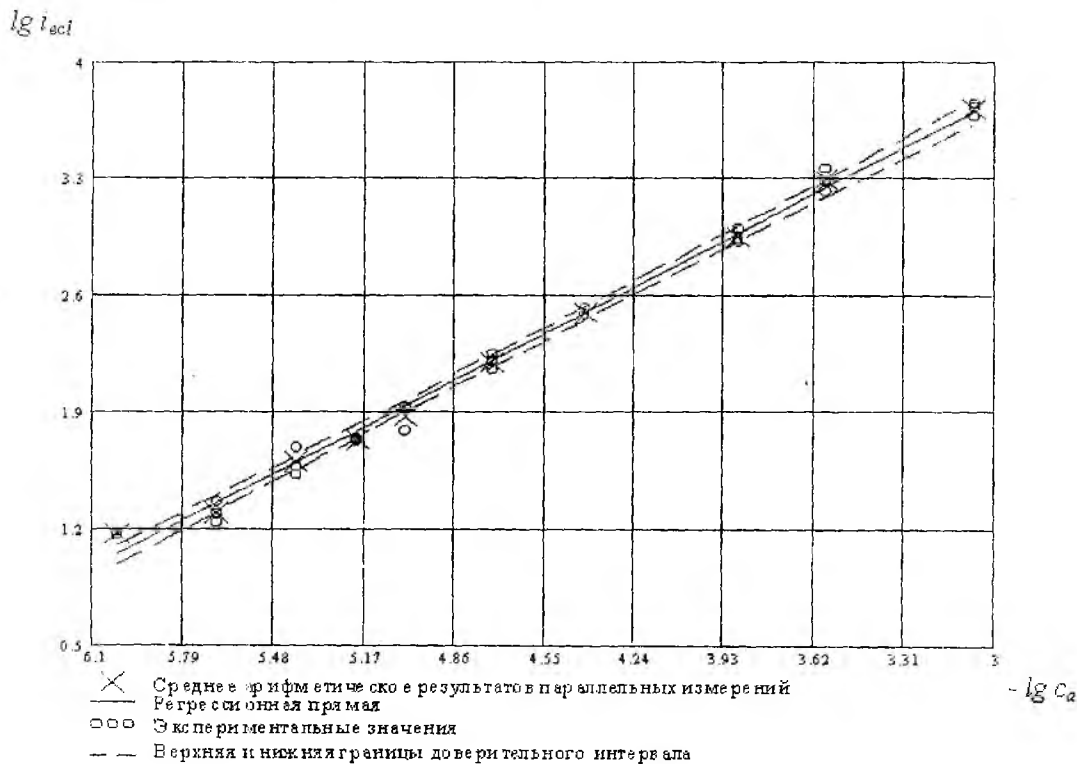


Рис.4. Градуировочный график после статистической обработки аналитических исследований модельной системы реагент антрацен и аналит гистамин ( $i_{ecl}$  – у нА,  $c_a$  – в мМ).

**Список литературы:** 1. Xu X.-H., Bard A.J. Immobilization and hybridization of DNA on an aluminum//J. of the Amer. Chem. Soc., 1995.-№9.-P.2627-2631. 2. Rodrigues M., Bard A.J. Electrochemical studies of the interaction of metal chelates with DNA//J. of the Amer. Chem. Soc., 1990. №24. P.2658-2662. 3. Снежко Д.В., Рожницкий Н.Н. Оптохемотронные сенсоры - новые элементы биомедицинских диагностических систем. 1. Основные понятия, теоретическое описание, физические и математические модели процессов в оптохемотронных сенсорах // Радиотехника. 2002. Вып. 124. С.174-181. 4. 100. Петерс Д., Хайес Дж., Хифтье Г. Химическое разделение и измерение. Теория и практика аналитической химии: Пер. с англ. М.: Химия, 1978. 816 с.5. Рожницкий М.М., Бых А.И., Красноголовец М.А. Электрохимическая люминесценция.//Монография.-Харьков:2000.-320с. 6. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа.// – Л.: Химия, 1986.-432с.

Поступила в редколлегию 19.09.2002.

УДК 519.95:612.018

С. И. ЛАПТА

## НАХОЖДЕНИЕ ФУНКЦИИ АБСОРБЦИИ ГЛЮКОЗЫ В КИШЕЧНОМ ТРАКТЕ ПАЦИЕНТА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ГЛИКЕМИИ

Проблема всасывания глюкозы в кровь из желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) человека представляет значительный интерес, как для нормальной физиологии, так и для практической медицины в связи с клинически встречающимся синдромом мальабсорбции (синдромом недостаточности всасывания пищевых веществ) [1, 2]. Большую часть энергии (не менее 60 %) человек получает с пищей посредством углеводов, в основном в виде крахмала. В процессах пищеварения сложные углеводы ферментативно разлагаются на простые сахара: преимущественно на глюкозу и частично на фруктозу и галактозу, которые всасываются в кровоток в тонком кишечнике. Затем в печени фруктоза и галактоза также трансформируются в глюкозу. Поэтому при исследовании абсорбции углеводов допустимо всасывание галактозы и фруктозы в кишечнике учитывать опосредованно через глюкозу, т.е. условно считать, что в желудочно-кишечном тракте углеводы абсорбируются в кровь лишь в виде глюкозы. Кроме того, упрощая, возможно процессы пищеварения учитывать лишь косвенно, сводя все углеводы, находящиеся в кишечнике, к глюкозе, безотносительно их первоначального вида.

Теоретически, в биохимическом и физиологическом аспектах, процесс абсорбции глюкозы в желудочно-кишечном тракте изучен уже достаточно полно [1–3]. Однако из-за отсутствия каких-либо эффективных количественных методов исследования вида функции всасывания глюкозы в кровь в кишечнике человека до последнего времени ограничивались лишь качественными общетеоретическими биохимическими и физиологическими представлениями об этом процессе и клиническими данными, полученными на животных и в экспериментах *in vitro*. В частности, известно [3,4], что процесс всасывания глюкозы в кровь в кишечнике начинается практически сразу после ее перорального приема. Его интенсивность монотонно нарастает, достигает предельной интенсивности "насыщения", характерной для абсорбционных процессов. В норме процесс заканчивается практически полным поглощением глюкозы из ЖКТ в течение около одного-двух часов времени. Недавнее введение в практику терапии сахарного диабета и некоторых других заболеваний фармацевтических препаратов, ослабляющих абсорбцию глюкозы из кишечного тракта пациента [5], повысило актуальность всестороннего исследования этого процесса в норме и в патологии.

До последнего времени наиболее точную и объективную информацию о переваривании и всасывании пищевых веществ у пациента медики могли получать только с помощью прямых методов (зондирования кишечника, в частности в сочетании с биопсией слизистой оболочки тонкой кишки, и исследования кала), и "почти прямого" рентгенологического исследования, результаты которых зависят лишь от функционального состояния органов желудочно-кишечного тракта [1]. Однако при исследовании всасывания глюкозы в кровь изучение состава кала непригодно, так как вся глюкоза, не всосавшаяся в тонком кишечнике, попадая затем в толстый кишечник, подвергается сбраживанию. Метод зондирования при диагностике синдрома недостаточности всасывания глюкозы в кишечнике также практически не применяется. Этот метод имеет принципиально локальный характер и предусматривает обременительную, сложную процедуру пошагового зондирования всего кишечника, что представляет большие трудности для пациента и может быть противопоказано ему. Биопсия и рентгенологический метод очень редко позволяют установить специфический диагноз нарушений процессов всасывания глюкозы.

К косвенным методам исследования всасывательной функции кишечника относятся такие, при которых об абсорбционной способности судят по появлению принятого внутрь вещества в крови или по его выделению с мочой. При нормальной работе почек и нормальном уровне гликемии глюкоза практически не проходит в мочу. Известен простой способ сахарных нагрузок исследования абсорбции глюкозы в ЖКТ, опирающийся на проведение стандартного ПТТГ (перорального теста толерантности к глюкозе), состоящего в измерении уровня глюкозы в капиллярной крови натощак, а затем, после приема внутрь глюкозной нагрузки в 75 г, еще несколько раз с интервалом в полчаса [3]. Характерная слабоосцилляционная динамика изменения уровня гликемии при проведении этого теста в норме со специфической гипогликемической фазой представлена на рис. 1, а.

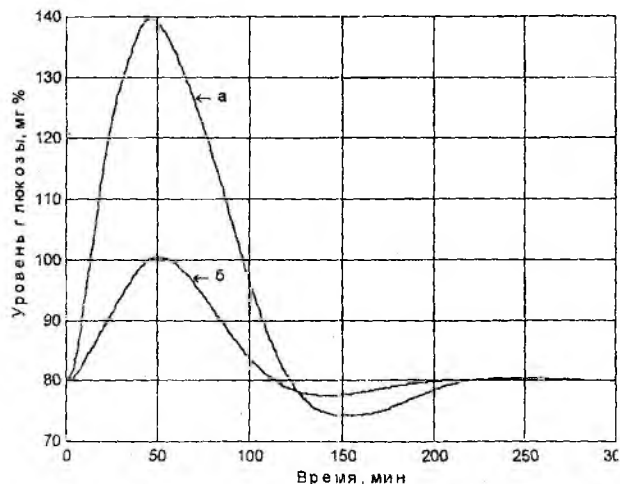


Рис. 1.

Гликемические кривые перорального теста толерантности к глюкозе а) в норме; б) при нарушенном ее всасывании в ЖКТ (построенные по справочным клиническим данным [3, 7]).

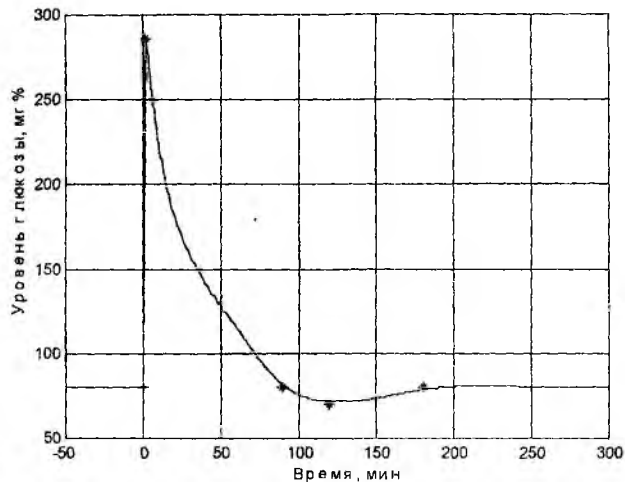


Рис. 2.

Гликемическая кривая внутривенного теста толерантности к глюкозе в норме. Сплошная линия – расчетная по модели (1); \* – клинические справочные данные из работы [7,8].

Кривая нарастания сахара считается нормальной, если уровень сахара максимально поднимается на 30 минуте и возвращается к исходному базальному значению, в норме равному 60-100 мг% (60-100 мг глюкозы на 100 мл крови), через 2-2,5 часа. Признаком нормального всасывания глюкозы в кишечнике является повышение содержания сахара на 40-60 мг % (рис. 1, а), повышение же его менее, чем на 25 мг %, как полагают, свидетельствует о нарушении всасывания (рис. 1, б) [3].

Существенным недостатком этого способа исследования функции абсорбции глюкозы в кровь в ЖКТ является неоднозначная трактовка получаемых результатов. Действительно, форма и характер гликемической кривой перорального теста зависят не только от интенсивности поступления в кровь экзогенной глюкозы, но также и от состояния печени, поджелудочной и эндокринных желез, вегетативной нервной системы и других факторов. Чтобы как-то учесть вклад всех этих механизмов, рекомендуют сравнивать кривые толерантности к глюкозе при введении ее перорально и внутривенно [6]. При стандартном ВТГ (внутривенном тесте толерантности к глюкозе) пациенту вводят внутривенно в течение 2 минут глюкозу из расчета 0,5 г на кг веса тела в виде раствора. Известно, что при этом уровень глюкозы в крови резко повышается от базального значения до максимального сразу после проведения инъекции, в норме равного 250-300 мг %, и затем монотонно снижается, практически по экспоненте. В норме концентрация глюкозы в крови опять достигает базального уровня на 40-100 минуте, потом совершает характерную гипогликемическую осцилляцию и окончательно возвращается к нему на 180 минуте от начала теста (рис. 2, на котором приведена типичная нормальная кривая ВТГ).

Гликемическая кривая с небольшим подъемом при пероральном варианте пробы (рис. 1, б), ее условно называют плоской кривой, и нормальная кривая при внутривенной инъекции (рис. 2) свидетельствуют о нарушении всасывания глюкозы.

Очевидно, что и простой способ сахарных нагрузок, и его модифицированный вариант с проведением перорального и внутривенного тестов толерантности к глюкозе являются скорее качественными, чем количественными. Они не позволяют определить точный вид функции всасывания глюкозы в кровь в кишечнике пациента и дифференцировать ее различные, возможные отклонения от нормы.

В настоящее время для исследования функции всасывания глюкозы в кишечнике применяют в основном тест с D-ксилозой [1]. Это также простой сахар, способный всасываться в кишечнике. В отличие от глюкозы он не является продуктом пищеварения, не участвует в углеводном обмене и экскретируется с мочой, поэтому является наиболее удачным веществом для исследования всасывательной функции кишечника. Считают, что тест с D-ксилозой является удовлетворительным скрининговым тестом для определения всасывания углеводов. Однако этот тест очень грубый и также носит качественный характер. Кроме того, неизвестно, насколько всасывание D-ксилозы характеризует всасывание глюкозы.

Поэтому актуальной является проблема разработки принципиально новых косвенных методов количественного анализа и дифференциальной диагностики нарушений механизма абсорбции глюкозы в ЖКТ, что невозможно без построения его эффективной, физиологически адекватной математической модели. Примитивные представления о функции поступления глюкозы в кровь из кишечника в виде прямоугольного импульса [9] либо в виде экспоненциально убывающей функции [10], использовавшиеся ранее при математическом моделировании углеводного обмена, очевидно, недостаточны.

Разрешить поставленную проблему представляется возможным на основе математического моделирования глюкозотолерантных тестов, применяемых в способе сахарных нагрузок. Известные в литературе многочисленные математические модели углеводного обмена, номинально описывающие динамику гликемии, оказались непригодны для этой цели вследствие их физиологической неадекватности. У всех этих моделей отсутствует необходимая универсальность, как по способу глюкозной нагрузки, так и по возможности описания всей гликемической кривой, включая время введения. Кроме того, во всех этих моделях гипотетически постулируется такая взаимосвязь динамики глюкозы и инсулина, которая противоречит физиологическим данным.

В недавних работах автора [11,12] была разработана принципиально новая однокомпарментная математическая модель динамики уровня глюкозы в капиллярной крови. Она является самой минимальной математической моделью ауторегуляции уровня гликемии: участие в процессе регуляции уровня глюкозы в крови многочисленных эндогенных факторов, включая также и инсулин, учитывается, но описывается опосредованно, в соответствии с физиологическими представлениями, в конечном счете, через саму глюкозу. Известная инерционность механизма ауторегуляции уровня гликемии учтена и адекватно описана дифференциально-разностным уравнением 1-го порядка с запаздывающим аргументом относительно отклонения  $y(t) = G_t - G_b$  уровня глюкозы в крови  $G_t$  от его базального значения  $G_b$ :

$$\frac{dy}{dt} = (1 - \alpha)f(t) - \beta^{\mp} y(t - \tau^{\mp}) - \gamma Es(y(t-1) + G_b - G_g) - \mu Es(y(t-1) + G_b - G_u), \quad t \geq 0, \quad (1)$$

$$y(t) = \phi(t) = 0, \quad -\tau \leq t < 0,$$

где все величины нормированы на 100 мл крови, в предположении, что полный объем крови составляет 5 литров,  $t$  – текущее время в минутах (индекс "-" берется всюду при положительных значениях функции  $y(t)$ , а "+" при ее отрицательных значениях, в соответствии с направлением изменения уровня гликемии при этом);  $\alpha$  – коэффициент интенсивности утилизации глюкозы, контролируемой инсулином, при ее экзогенном поступлении,  $\beta^-$  и  $\tau^-$  – коэффициент интенсивности и время запаздывания в гипогликемической регуляции, осуществляемой инсулином при гипергликемических отклонениях уровня глюкозы в крови от его базального значения;  $\beta^+$  и  $\tau^+$  – коэффициент интенсивности и время запаздывания в гипергликемической регуляции при гипогликемических отклонениях, осуществляемой контррегуляторными гормонами в процессах гликогенолиза и глюконеогенеза, причем время запаздывания в этой системе регуляции, обладающей инерционностью, со степенью, зависящей от величины отклонения уровня глюкозы в крови от его базального значения, определяется эмпирической формулой:

$$\tau^{\mp} = \frac{\tau_0^{\mp} + \exp(b(y(t-1) - c^{\mp}))}{1 + \exp(b(y(t-1) - c^{\mp}))},$$

где  $\tau_0^{\mp}$ ,  $b$ ,  $c^{\mp}$  – числовые параметры процесса;  $G_g$ ,  $G_u$  – почечный порог глюкозурии и порог инсулиннезависимой утилизации глюкозы соответственно,  $\gamma > 0$  и  $\mu > 0$  – параметры, характеризующие их интенсивности,  $Es(z) = ze(z)$ , где  $e(z)$  – единичная функция Хевисайда;  $\phi(t)$  – начальная функция;  $f(t)$  – интенсивность поступления в кровь экзогенной глюкозы, контролируемая при проведении ВТТГ и подлежащая определению при ПТТГ по результатам перорального и внутривенного тестов.

В каждый момент времени  $t$  уравнение (1) сводится к элементарной задаче нахождения неизвестного значения функции  $y(t)$  по ее известной производной:

$$y(t) = \int_0^t [(1-\alpha) f(s) - \beta^+ y(s-\tau^+) - \gamma E s (y(s-1) + G_b - G_g) - \mu E s (y(s-1) + G_b - G_u)] ds \quad (2)$$

Интеграл в правой части формулы (2) вычисляется с помощью квадратурной формулы трапеций. Согласно данному алгоритму была составлена программа вычислений на ПЭВМ, по которой проводится численный анализ. В процессе численных экспериментов методами идентификации математических моделей биологических систем находятся числовые значения параметров задачи, соответствующие клиническим гликемическим данным. Эти параметры имеют конкретный физиологический смысл, численные значения каждого из них определяют вид соответствующей гликемической кривой на определенном ее участке. Величина параметра  $\alpha$ , второго по значимости после базального уровня гликемии в диагностике состояния механизма регуляции углеводного обмена, определяет максимум посталиментарного подъема гликемии. Или иначе, величина параметра  $\alpha$  показывает, какая часть экзогенной глюкозы утилизируется практически мгновенно при попадании в кровь. Параметры  $\beta^-$  и  $\tau_0^-$  а также отчасти и  $b$ ,  $c^-$ , каждый по-своему, определяют первую фазу переходного процесса (понижения уровня гликемии) – начало этой фазы определяется в основном значением параметра  $\beta^-$ , а конец – значением параметра  $\tau_0^-$ . Параметры  $\beta^+$  и  $\tau_0^+$ ,  $b$ ,  $c^+$  аналогично определяют вторую фазу переходного процесса (последующего подъема уровня гликемии). Значения параметров  $\gamma$  и  $G_g$  находятся по клиническим данным глюкозурии.

Помимо уже описанных основных параметров модели решение уравнения (1) существенно зависит от функции интенсивности поступления в кровь экзогенной глюкозы  $f(t)$ . При внутривенной нагрузке ее можно сделать любой наперед заданной. Внутривенную глюкозную нагрузку ВТГГ с большой точностью можно смоделировать прямоугольным импульсом:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{D_v}{T}, & 0 \leq t \leq T; \\ 0, & t > T. \end{cases}$$

Здесь  $T$  – продолжительность процесса инъекции глюкозы,  $D_v$  – доза внутривенно введенной экзогенной глюкозы в пересчете на 100 мл крови. При стандартном внутривенном тесте  $D_v = 617,3 \text{ мг\%}$  и  $T = 2 \text{ мин}$ .

На рис. 2 представлена, построенная по клиническим данным нормальная гликемическая кривая ВТГГ, имеющая слабоосцилляционный характер, с высокой точностью воспроизводимая численно при соответствующем подборе параметров модели.

Таким образом, численные значения основных параметров математической модели динамики гликемии (1) конкретного пациента легко и практически однозначно определяются по гликемическим данным его ВТГГ:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,6616; \beta^- = 0,0240 \text{ мин}^{-1}; \beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}; \tau_0^- = 27 \text{ мин}; \tau_0^+ = 50 \text{ мин}; \\ b &= 0,2 (\text{мг\%})^{-1}; c^- = 37 \text{ мг\%}; c^+ = 0 \text{ мг\%}; \gamma = 0,02 \text{ мин}^{-1}; \mu = 0,0157 \text{ мин}^{-1}; \\ G_b &= 80 \text{ мг\%}; G_g \approx G_u = 170 \text{ мг\%}. \end{aligned} \quad (3)$$

При пероральной глюкозной нагрузке вид гликемической кривой зависит не только от этих основных параметров модели, но также и от вида представления функции  $f(t)$ . Более того, в связи с этим при ПТГГ теряется имеющееся при ВТГГ свойство однозначного определения всех параметров модели по гликемическим данным теста. Одной и той же кривой ПТГГ можно поставить в соответствие несколько различных наборов параметров модели, в зависимости от выбора вида функции всасывания глюкозы в кишечнике  $f(t)$ . Так, в случае функции  $f(t)$ , описываемой формулой

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ \frac{Q}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left[ \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right) - \exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) \right], & 0 \leq t < 2a, \\ 0, & t \geq 2a, \end{cases} \quad (4)$$

где  $2a = 80$  мин – время процесса поступления в кровь экзогенной глюкозы,  $\sigma^2 = 14^2$  мин<sup>2</sup> – дисперсия,  $Q = 1567$  мг% – величина, практически равная дозе или иначе количеству поступившей перорально экзогенной глюкозы в пересчете на 100 мл крови

$$D_p = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1500 \text{ мг\%} \quad (5)$$

(небольшое различие между ними связано с соответствующим отличием функции  $f(t)$  от гауссовой кривой), модель (1) воспроизводит нормальную гликемическую кривую ПТТГ (рис. 1а) при следующих значениях основных ее параметров:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,948, \quad \beta^- = 0,0185 \text{ мин}^{-1}, \quad \beta^+ = 0,021 \text{ мин}^{-1}, \quad \tau_0^- = 32 \text{ мин}, \quad \tau_0^+ = 50 \text{ мин}, \quad b = 0,2(\text{мг\%})^{-1}, \\ c^- &= 42 \text{ мг\%}, \quad c^+ = 0 \text{ мг\%}, \quad \gamma = 0,02 \text{ мин}^{-1}, \quad \mu = 0,0157 \text{ мин}^{-1}, \quad G_g \approx G_u = 170 \text{ мг\%}, \\ G_b &= 80 \text{ мг\%}. \end{aligned}$$

Эту же гликемическую кривую (рис. 1, а) можно получить и при другом наборе значений основных параметров модели при той же функции  $f(t)$  (4), но с изменением значений дополнительных параметров  $a$  и  $\sigma$ . Не трудно убедиться, что и при более радикальных изменениях вида функции  $f(t)$  модель (1) также позволяет воспроизвести нормальную гликемическую кривую ПТТГ (рис. 1), но уже при других наборах значений ее основных параметров.

Поскольку вид уравнения (1) динамики изменения уровня гликемии инвариантен относительно характера глюкозной нагрузки: внутривенной или пероральной, инвариантными должны быть также и все параметры модели, индивидуализированной для данного пациента, прямо не связанные с процессом экзогенного поступления глюкозы в кровь. Очевидно, что это относится ко всем параметрам, за исключением  $\alpha$ . То есть, все параметры модели (1), индивидуализированной для данного пациента, кроме  $\alpha$ , должны совпадать при определении их как по данным ВТТГ, так и по данным ПТТГ. Значение параметра  $\alpha$ , описывающего интенсивность секреции инсулина, как следует из физиологических соображений, зависит от способа введения экзогенной глюкозы. Известно, что при пероральной глюкозной нагрузке секреция инсулина, соответственно, и величина параметра  $\alpha$  должны быть значительно больше, чем при внутривенной нагрузке [4]. Таким образом, имеется возможность определения значений всех основных параметров модели динамики гликемии данного пациента, кроме  $\alpha$ , по клиническим данным проведенного у него ВТТГ. Затем, после проведения, у этого же пациента ПТТГ, сохранив неизменными найденные ранее значения всех основных параметров модели, за исключением  $\alpha$ , следует добиться воспроизведения моделью гликемической кривой ПТТГ с учетом условия (5) за счет подбора вида функции  $f(t)$  и значения параметра  $\alpha$ .

В качестве демонстрации возможности восстановления вида функции всасывания глюкозы в ЖКТ рассмотрим гипотетического пациента с усредненными нормальными гликемическими данными ПТТГ и ВТТГ, приведенными в литературе, в соответствии с которыми построены кривые на рис. 1, а и 2. По гликемической кривой ВТТГ (рис. 2) были определены значения основных параметров модели динамики гликемии, индивидуализированной для этого гипотетического пациента (3). При проведении предложенной процедуры нахождения вида функции  $f(t)$  была получена кривая, представленная на рис. 3, б, которую следует считать в качестве нормы для функции всасывания глюкозы в кишечнике.

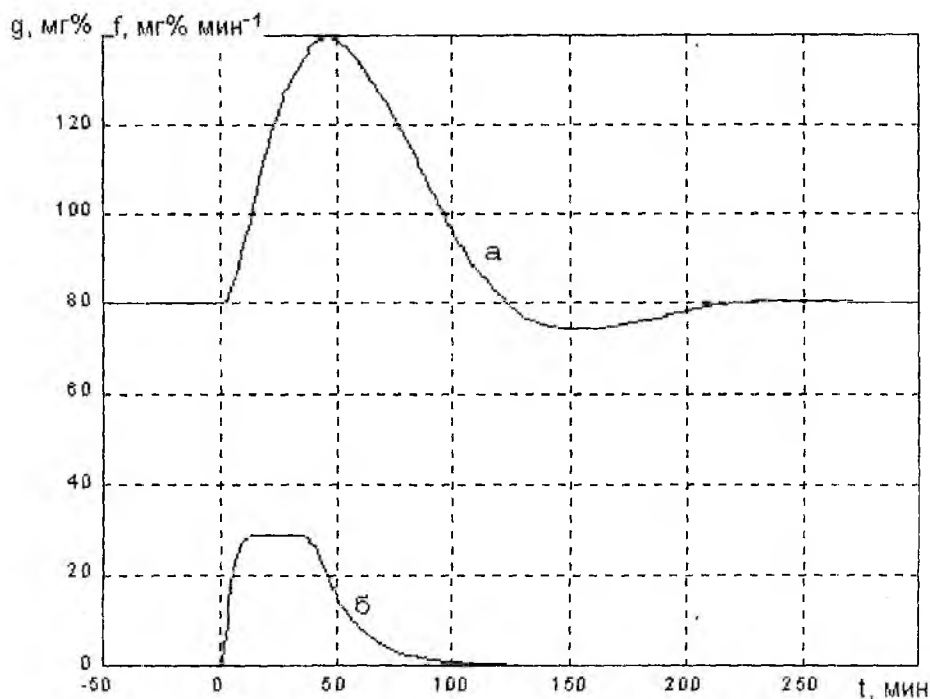


Рис. 3

В случае такой функции всасывания модель динамики гликемии воспроизводит гликемическую кривую ПТТГ при тех же значениях параметров (3), за исключением  $\alpha$ . Его значение при пероральной нагрузке оказывается значительно больше:  $\alpha = 0,9260$  (примерно в 1,4 раза), что согласуется с физиологическими представлениями. Вид кривой функции всасывания глюкозы в кишечнике (рис. 3б) соответствует известным физиологическим представлениям: сначала резкий подъем, потом замедление подъема, достижение предельно возможной интенсивности всасывания глюкозы и затем экспоненциальное спадание. Площадь под кривой равна количеству поступившей в кровь экзогенной глюкозы в пересчете на 100 мл крови, в норме оно совпадает с принятой пероральной дозой глюкозы —  $D_p = 1500 \text{ мг\%}$ , нормированной на 100 мл крови. На рис. 3а приведена также и гликемическая кривая ПТТГ, соответствующая найденной функции всасывания глюкозы в кишечнике.

Кривую функции всасывания глюкозы (рис. 3б) с большой точностью можно описать эмпирической формулой:

$$f(t) = A \begin{cases} 0, & t < 0, \\ e^{-k(t-d)^2} - e^{-kd^2}, & 0 \leq t < d, \\ 1 - e^{-kd^2}, & d \leq t < T, \\ (1 - e^{-kd^2})e^{-m(t-T)}, & t \geq T \end{cases} \quad (6)$$

В этой формуле  $d$  — время переходного процесса окончательного заполнения кишечного тракта раствором глюкозы и достижения интенсивностью ее всасывания в кровь максимально возможного значения, равного  $A(1 - e^{-kd^2})$ ,  $T$  — момент времени, зависящий от дозы  $D_p$  перорально принятой глюкозы, начиная с которого интенсивность ее всасывания в кровь определяется невосполнимым остаточным ее количеством в кишечном тракте. В течение от момента времени  $d$  до момента  $T$  кишечный тракт полностью заполнен раствором глюкозы и она всасывается в кровь с постоянной предельной интенсивностью. Формула (6) воспроизводит кривую функции всасывания глюкозы в кишечнике (рис. 3б) при следующих численных значениях ее параметров:

$$A = 55,5 \text{ мг\% мин}^{-1}; d = 10 \text{ мин}; k = 0,009 \text{ мин}^{-2}; m = 0,06 \text{ мин}^{-1}, T = 40 \text{ мин}.$$

Известный способ сахарных нагрузок исследования всасывательной функции желудочно-

кишечного тракта почти не применяется в клинической практике, так как его результаты помимо изучаемого процесса зависят от состояния эндокринной системы регуляции гликемии, которую ранее не представлялось возможным учесть. Помимо этого фактора, способ сахарных нагрузок является недопустимо грубым. Согласно данному способу нарушение всасывания глюкозы в кишечнике начинают диагностируют в случае гликемической кривой ПТТГ, расположенной ниже, чем кривая на рис. 2б, которая соответствует всасыванию лишь четверти нормы.

Предлагаемый способ косвенного количественного исследования абсорбции глюкозы в желудочно-кишечном канале позволяет получить точный вид функции всасывания глюкозы у обследуемого пациента независимо от состояния системы регуляции уровня глюкозы в крови у него. Этот способ дает возможность проводить численное сопоставление результатов обследования функции всасывания глюкозы у пациента с нормой и дифференцировать различные виды ее нарушений: неполное всасывание, уменьшенную либо увеличенную предельную интенсивность всасывания, отличия в параметрах переходных экспоненциальных процессов. Применение предлагаемого способа позволяет качественно повысить точность диагностики нарушений всасывательной функции желудочно-кишечного тракта, расширить возможности диагностики и терапии мальабсорбции.

**Список литературы:** 1. *Внутренние болезни*. В 10 книгах. Книга 7: Пер. с англ./ Под ред. Е. Браунвальда, К.Дж. Иссельбахера, Р.Г. Петерсдорфа и др. М.: Медицина, 1996. 720 с. 2. *Гастроэнтерология: Пер. с англ./ Под ред. С.П.Л. Трэвиса и др.* М.: Медицина, 2002. 640 с. 3. *Базанова Н.У., Ташенов К.Т., Файтельберг Р.О.* Закономерности всасывательной деятельности желудочно-кишечного тракта. Алма-Ата. Наука. 1985, 224 с. 4. *Endocrinology and metabolism* / Editors: P. Felig, J.D. Baxter, L.A. Frohman, McGraw-Hill, INC. 1995. 1940 p. 5. *Балаболкин М.И.* Диабетология. М.: Медицина, 2000. 672 с. 6. *Фролькис А.В.* Функциональная диагностика заболеваний кишечника. М.: Медицина, 1973, 256 с. 7. *Клиническая оценка лабораторных тестов.* / Под ред. Н.У. Тица. М.: Медицина, 1936. 356 с. 8. *Cobelli C, Pacini G, Toffolo G, Sacca L.* Estimation of insulin sensitivity and glucose clearance from minimal model new insights from labeled IVGTT. // *Am J Physiol.* 1986. 250. P. E591-E598. 9. *Антомонов Ю.Г., Кифоренко С.И., Микульская И.А., Пароконная Н.К.* Математическая теория системы сахара крови. Киев. Наукова думка. 1971, 83 с. 10. *Дэвис М.Дж.* Дифференциальная модель сахарного диабета. В кн. Математическое моделирование. М.: МИР, 1979. С. 128-139. 11. *Ланта С.И., Ланта С.С.* Функционально-феноменологическая модель перорального глюкозотолерантного теста. // Проблемы бионики. Харьков, №52, 2000. С.52-57. 12. *Ланта С.И., Ланта С.С., Жемчужкина Т.В.* Однокомпарментная математическая модель внутривенного теста толерантности к глюкозе // АСУ и приборы. №115-2001. С. 103-111.

Поступила в редколлегию 21.03.2002.

УДК 615.47:616-085

Т. А. КОЛЕСНИКОВА

## ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

На современном этапе развития медицины все большее значение приобретает функциональная диагностика, ориентированная на оценку степени тяжести заболевания и его влияния на качество жизни пациента. Для решения этой задачи необходим контроль большого числа физиологических показателей и вычисления критериев патологического состояния и его тяжести.

Одним из подходов к анализу сердечно-сосудистой системы (ССС) является математическое моделирование, которое дает возможность получить соотношения для расчета медико-биологических показателей системы кровообращения. Существуют механические, электрические и гидродинамические модели, при этом каждая из них специфична для конкретной задачи и не является оптимальной для полного описания ССС. Из-за отсутствия общего подхода к моделированию ССС, нет ни одной модели, в которой было бы проведено обоснование всех выбранных показателей [1]. При создании моделей описание физиологических процессов были упрощены, вследствие чего не учитывается влияние ряда важных факторов, таких как периферическое сопротивление и его зависимость от вязкости крови, времени, длины сосуда. В то же время, увеличение периферического сопротивления на 50 % приводит к падению кровотока до 0,94 от номинального, при этом артериальное давление возрастает на 36–37%, венозное давление снижается до 0,94 от значения в норме [2]. Это приводит к расхождению между теоретическими и экспериментальными данными.

Механические модели учитывают факторы, такие как давление в легочной артерии и вене, их эластичность и т.д. [3]. Применение этих моделей затруднено необходимостью получения информации о значениях давлений в сердечных камерах, величин растягивающих объемов легочных вен и артерий, их эластичности и т.д. Такую информацию можно получить лишь при проведении оперативных мероприятий (операций).

Электрические модели позволяют оценивать динамику сердца, но в силу своей специфики носят теоретический характер, и не нашли практического применения [4].

Гидродинамическая модель, являясь относительно простой, устанавливает связь между давлением в артерии, выбросом крови и периферическим сопротивлением. Но она имеет ряд весьма существенных недостатков, а именно: не объясняет регуляцию длительности кардиоцикла без значительных сдвигов уровней давления и кровенаполнения в различных участках сосудистой системы и высокую степень адаптации сердечно-сосудистой системы к различным факторам воздействия, т.е. высокую скорость протекания в системе кровообращения переходных процессов, не интерпретирует результаты [5].

Упрощенная гидродинамическая модель, приведенная в работе [6], дает представление о форме пульсовой волны, которая является результатом сложения артериальной и венозной составляющих (рис. 1).

Общая скорость изменения объема  $V$  определяется разницей между мгновенной скоростью выброса  $W$  из сердца и мгновенной скоростью оттока крови  $Q$  из аорты:  $dV/dt = W - Q$ . Так как  $dV/dt = (dP/dt)/k$ , а  $Q = P/R$ , где  $R$  – периферическое сопротивление, то получим следующее дифференциальное уравнение для описания модели:

$$\frac{dP}{dt} = kW(t) - \alpha P, \quad (1)$$

где  $P$  – давление, мм рт.ст.;  $t$  – время, с;  $k$  – коэффициент объемной упругости;  $W$  – периодическая функция времени, описывающая мгновенную скорость изгнания крови из сердца;  $\alpha$  – обобщенная характеристика сосуда.

Отталкиваясь от уравнения (1), которое является базовым в модели [6], в данной работе рассматривается возможность создания единой модели сердца и сосудистой системы, учитывающей вклад артериальной и венозной составляющих:

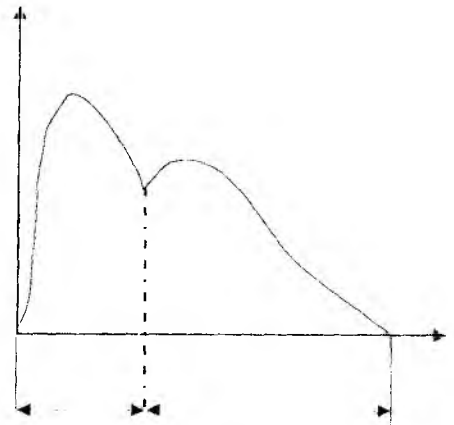


Рис. 1

$$\begin{cases} \frac{dP_{арт}}{dt} = k_1 W_1(t) + \alpha_1 P_{арт}, \\ \frac{dP_{вен}}{dt} = k_2 W_2(t) + \alpha_2 P_{вен}, \\ P_{общ} = P_{арт} + P_{вен}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $P_{арт}$ ,  $P_{вен}$ ,  $P_{общ}$  – артериальное, венозное и суммарное давления соответственно, мм рт.ст.;  $t$  – время, с;  $k_1, k_2$  – коэффициент объемной упругости аорты, вены, соответственно;  $W_1, W_2$  – периодическая функция времени, описывающая мгновенную скорость изгнания крови из сердца;  $\alpha_1, \alpha_2$  – обобщенные характеристики сосудов.

Учитывая, что в уравнения входит функция времени  $W(t)$ , характер которой определяет форму кривых давлений, особое внимание следует уделить аналитическим выражениям, определяющих функцию выброса крови из сердца. Для этого предлагается время кардиоцикла разбить на четыре временных интервала, на каждом из которых аппроксимировать функцию  $W(t)$ . Нарастающий систолический выброс крови из левого желудочка сердца приводит к быстрому повышению давления в аорте, а затем в артериальной системе. Давление одновременно увеличивается как в желудочке, так и в аорте, так как мышечные клетки желудочка продолжают сокращаться на раннем этапе систолы. Этот период называют фазой быстрого изгнания. Давление в левом желудочке и аорте в конечном итоге достигает максимума. Эту фазу можно описать с помощью синусоидальной функции:

$$W(t) = W_0 \sin\left(\frac{\pi t}{t_1}\right), \quad \text{при } 0 < t < t_1, \quad (3)$$

где  $W_0$  – амплитуда колебаний.

Преобладание оттока через малое периферическое сопротивление над притоком вызывает систолическое падение давления в аорте и артериальной системе с падением перепада давления в периферической системе. Перемещение крови в венозную систему происходит из аорты через артериальную систему и мелкие периферические сосуды за счет градиента давления между аортой и венозной системой вплоть до окончания систолической фазы кардиоцикла. Сила сокращения желудочка уменьшается до такой степени, что давление в желудочке падает ниже давления в аорте. Это вызывает резкое закрытие аортального клапана. Эту фазу можно описать с помощью экспоненциальной функции

$$W(t) = m_1 e^{n_1 t} \quad \text{при } t_1 < t < t_2, \quad (4)$$

Следующая фаза начинается с открытия трехстворчатого клапана между правым предсердием и правым желудочком. Этому предшествует резкое падение внутрижелудочкового давления, которое продолжается и в фазе быстрого наполнения. Падение давления в желудочках сердца опережает приток крови в сердце за счет градиента давления из сосудистой системы. Это удобно представить третьей фазой сердечного выброса в диастоле

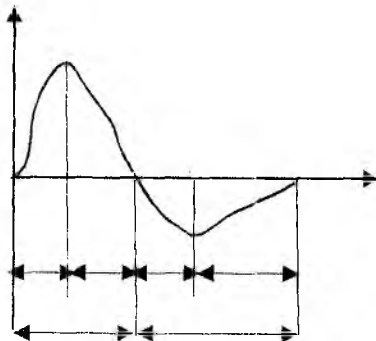


Рис. 2

$$W(t) = m_2 e^{n_2 t} \quad \text{при } t_2 < t < t_3, \quad (5)$$

В заключительной фазе кардиоцикла приток крови из области более высокого давления (в том числе из аорты) начинает превышать отток крови из артериальной системы и функцию  $W(t)$  можно представить в виде:

$$W(t) = m_3 e^{n_3 t} \quad \text{при } t_3 < t < t_4, \quad (6)$$

Следовательно выброс крови  $W(t)$  на всем периоде кардиоцикла можно представить в виде системы (7), графическая интерпретация, которой представлена на рис. 2.

$$\begin{cases} W(t) = W_0 \sin\left(\frac{\pi t}{t_1}\right), & \text{при } 0 < t < t_1, \\ W(t) = m_1 e^{n_1 t}, & \text{при } t_1 < t < t_2, \\ W(t) = m_2 e^{n_2 t}, & \text{при } t_2 < t < t_3, \\ W(t) = m_3 e^{n_3 t}, & \text{при } t_3 < t < t_4 \end{cases} \quad (7)$$

На примере артериальной компоненты рассмотрим формирование пульсовой волны. Обозначив через переменные  $P_{s1}$  и  $P_{s2}$  давление в период систолы, а через  $P_{d1}$  и  $P_{d2}$  – в период диастолы. Тогда для четырех интервалов одного сердечного сокращения уравнение (1) принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_{s1}}{dt} = k_1 W_0 \sin(\pi t / t_1) - \alpha_1 P_{s1}, \\ \frac{dP_{s2}}{dt} = k_2 m_1 e^{n_1 t} - \alpha_2 P_{s2}, \\ \frac{dP_{d1}}{dt} = k_3 m_2 e^{n_2 t} - \alpha_3 P_{d1}, \\ \frac{dP_{d2}}{dt} = k_4 m_3 e^{n_3 t} - \alpha_4 P_{d4}. \end{cases} \quad (8)$$

Решение этих уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} P_{s1}(t) = A \sin\left(\frac{\pi t}{t_1}\right) + B \cos\left(\frac{\pi t}{t_1}\right) + C e^{-\alpha t}, \\ P_{s2}(t) = D_1 e^{-\alpha t}, \\ P_{d1}(t) = D_2 e^{-\alpha t}, \\ P_{d2}(t) = D_3 e^{-\alpha t}. \end{cases} \quad (9)$$

где  $A, B, C, D$  – постоянные интегрирования.

Воспользовавшись данными уравнениями можно графически отобразить закономерности изменения давления в ССС за одно сердечное сокращение (рис. 3).

Применение модели к эксперименту показало соответствие теоретических и экспериментальных данных.

Таким образом, предлагаемая модель, является замкнутой, т.е. адекватна к экспериментальным данным, позволяет проводить детальный анализ выброса крови из сердца, выявлять отклонения от нормы на различных участках сердечно-сосудистой системы. В настоящее время такой анализ пульсовой волны ведется на основе эмпирических данных.

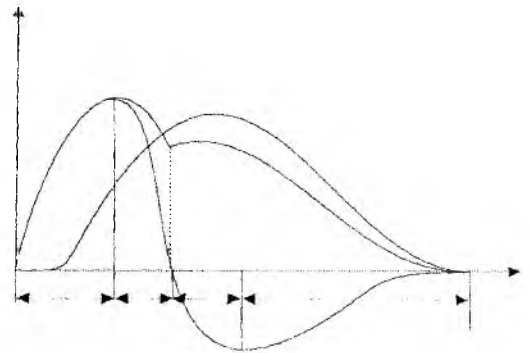


Рис. 3

- Список литературы:** 1. *Лизук В.А.* Математическая теория моделирования. М.: «Медицина», 1991. 256 с. 2. *Яблучанский Н.И.* Интерпретация в клинической физиологии сердца. Харьков: Из-во Национального университета внутренних дел, 2001. 168 с. 3. *Минцер О.П.* Проблемы медицинской кибернетики. К.: «Здоровье», 1982. 267 с. 4. *Соколова И.В.* Основы механизма пульсовой гемодинамики и его уточнение за счет введения активной диастолической деятельности миокарда // Биомедицинская радиоэлектроника. 2001. №5-6. С. 53-61. 6. *Попечителев Е.П.* Инженерные аспекты медико-биологических исследований. Ленинград: ЛЭТИ, 1985. 78 с.

Поступила в редколлегию 18.04.2002.

УДК 681.5

А. Д. ПОЛОНСКИЙ

## ИНВАРИАНТНАЯ АЛГЕБРА РАНГОВЫХ ПРЕДИКАТОВ ДЛЯ СИНТЕЗА НЕЙРОПОДОБНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Введение**

Одной из проблем нейрокибернетики является синтез нейроподобных систем (НПС) в условиях неопределенности. Под синтезом НПС понимается процесс порождения математических и электрических моделей, адекватных детекторной теории нейрокибернетики [1]. Согласно этой теории логическим элементом НПС является нейрон-детектор (НД), воспроизводящий на рабочем участке характеристики функцию скалярного произведения (ФСП) вектора возбуждения  $y \in E^n$  и вектора синаптических связей  $a \in \Gamma^n$ . Символом  $E^n$  обозначено  $n$ -мерное евклидово пространство. Выходной сигнал рассматриваемого НД определяется выражением

$$z = z_a(y) = \sum_{i=1}^n a_i y_i, \quad (1)$$

где  $z_a(y)$  есть символ ФСП;  $a_i$  – эффективность синаптической связи  $i$ -го контакта синапса;

$y_i$  – значение возбуждения  $i$ -го входа НД. В дальнейшем изложении компоненты  $a_i$  и  $y_i$  векторов  $a$  и  $y$  будем называть соответственно весовыми коэффициентами и переменными.

Решение задачи синтеза НПС сводится к определению весовых коэффициентов, обеспечивающих требуемое поведение НД вида (1). Для определения таких коэффициентов могут быть использованы известные методы обучения распознавания образов (ОРО) [2, 3]. Исходной информацией для ОРО является вектор наблюдений. Поскольку наблюдения в большинстве случаев являются случайными сигналами, возникает проблема синтеза НПС в условиях неопределенности. Суть этой проблемы состоит в том, что полного объема априорных сведений о статистических свойствах случайных сигналов, требуемого методами ОРО, как правило, нет. В связи с этим представляет интерес синтез НПС, инвариантных к распределениям случайных сигналов.

В настоящей работе для синтеза инвариантных НПС решены такие задачи:

1. Построена инвариантная алгебра ранговых предикатов (ИАРП) для математического моделирования НПС.
2. Для электрического моделирования НПС разработан элементный (электрический) базис ИАРП – многофункциональный аналоговый логический элемент общего применения, который называется рангер.
3. Предложен метод предикатно-логического синтеза НПС на основе обучения распознавания ситуаций (отношений).

**1. Построение ИАРП**

В основу построения ИАРП положены функции вида (1), для которых весовые коэффициенты порождаются следующими преобразованиями:

$$a_i = a_i(\mathbf{u}) = \begin{cases} 0 & | u_i \neq u^{(r_i)} \in \mathbf{u}; \\ 1 & | u_i = u^{(r_i)} \in \mathbf{u}. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь  $u = (u_1, \dots, u_n)^T$  есть вектор наблюдений, компонентами которого являются случайные аналоговые сигналы с произвольными распределениями;  $r_i$  – ранг наблюдения  $u_i$ ;  $i = \overline{1, n}$ .

**Определение 1.** Рангом наблюдения называется его порядковый номер в вариационном ряду  $\{u^{(1)} < \dots < u^{(r)} < \dots < u^{(n)}\}$ . Здесь  $u^{(r)}$  есть  $r$ -й по величине элемент множества  $\mathbf{U} = \{u_1, \dots, u_n\}$ .

Формально процедуру вычисления ранга можно представить в виде

$$r_i = \sum_{j=1}^n \pi(u_i - u_j). \quad (3)$$

Здесь  $\pi(u_i - u_j)$  есть бинарные предикаты;

$$\pi(u_i - u_j) = \pi_{ij} = \begin{cases} 0 & | u_i < u_j; \\ 1 & | u_i \geq u_j; \end{cases} \quad (4)$$

$$u_i, u_j \in \mathbf{U} = \{u_1, \dots, u_n\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}.$$

**Определения.** 2. Бинарные предикаты, на множестве которых определены ранги наблюдений, называются ранговыми предикатами. 3. Наблюдения, на множестве значений которых определены ранговые предикаты, называются предикатными переменными.

**Утверждение.** Ранговые предикаты обладают свойством инвариантности к распределениям предикатных переменных.

**Доказательство.** Ранговые предикаты принимают значения 1 и 0 с вероятностями

$$P(\pi_{ij} = 1) = \int_0^1 F(u_i) dF(u_i) = \frac{F^2(u_i)}{2} \Big|_0^1 = 0.5; \quad (5)$$

$$P(\pi_{ij} = 0) = 1 - P(\pi_{ij} = 1) = 0.5. \quad (6)$$

Здесь  $F(u_i) = \int_{-\infty}^{u_i} W(u_j) du_j$  есть интегральная функция распределения предикатной переменной  $u_i$ ;  $W(u_j)$  – плотность распределения вероятностей предикатной переменной  $u_j$ .

Из (5) и (6) следует, что появление событий  $\pi_{ij} = 1$  и  $\pi_{ij} = 0$  равновероятно независимо от функционального вида распределения предикатных переменных. Это позволяет утверждать, что ранговые предикаты обладают свойством инвариантности к распределению предикатных переменных.

**Следствие 1.** Распределение ранговых предикатов характеризуется, исходя из (5) и (6), математическим ожиданием

$$M[\pi_{ij}] = P(\pi_{ij} = 1) (\pi_{ij} = 1) = 0.5 \quad (7)$$

и дисперсией

$$D[\pi_{ij}] = P(\pi_{ij} = 1) (\pi_{ij} = 1)^2 = 0.5. \quad (8)$$

Из уравнений (7) и (8) следует, что смещение и эффективность ранговых предикатов не зависят от статистических свойств предикатных переменных. В этом проявляется свойство инвариантности ранговых предикатов.

**Следствие 2.** Из (3) следует, что совокупность рангов всех предикатных переменных образует некоторую перестановку целых чисел от 1 до  $n$ . Согласно (5) и (6) перестановки рангов равновероятны независимо от функционального вида распределения предикатных переменных. В этом проявляется свойство инвариантности рангов.

При  $n=2$  множество преобразований вида (2), порожаемое ранговыми предикатами (4), образует вектор весовых коэффициентов

$$a = \begin{cases} \left( a_1 = \pi_{12} = 1, a_2 = \bar{\pi}_{12} = 0 \mid u = (u_1 = u^{(r_1=2)}, u_2 = u^{(r_2=1)})^T \right)^T; \\ \left( a_1 = \pi_{12} = 0, a_2 = \bar{\pi}_{12} = 1 \mid u = (u_1 = u^{(r_1=1)}, u_2 = u^{(r_2=2)})^T \right)^T. \end{cases}$$

Здесь  $\bar{\pi}_{ij} = 1 - \pi_{ij} = \pi(u_j - u_i)$  есть операция отрицания ранговых предикатов.

**Определение 4.** Векторы весовых коэффициентов, порождаемые ранговыми предикатами, называются многоканальными числоимпульсными (позиционными) кодами рангов предикатных переменных.

При  $n=2$  множество ФСП, порождаемое ранговыми предикатами, содержит инвариантные дизъюнкцию

$$z_1 = V(\pi_{12}, \bar{\pi}_{12})(y_1, y_2) = \pi_{11}y_1 + \bar{\pi}_{12}y_2 \quad (9, a)$$

и конъюнкцию

$$z_2 = \Lambda(\pi_{12}, \bar{\pi}_{12})(y_1, y_2) = \bar{\pi}_{12}y_1 + \pi_{12}y_2. \quad (9, б)$$

Здесь  $V$  и  $\Lambda$  есть символы инвариантных дизъюнкции и конъюнкции;  $y_1$  и  $y_2$  – предметные (неслучайные) переменные. Функции (9) несколько видоизменяют сущность логической операции.

**Определение 5.** Инвариантной дизъюнкцией (конъюнкцией) называется операция выделения предметной переменной по ранговому признаку максимальной (минимальной) предикатной переменной.

Распределения бинарных функций (9) характеризуются, исходя из (7) и (8), математическими ожиданиями и дисперсиями соответственно  $M[z_i] = 0.5(y_1 + y_2)$ ;  $D[z_i] = 0.25(y_1 - y_2)^2$ ,  $i = 1, 2$ . Отсюда следует, что смещение и эффективность функций (9) независимы от статистических свойств предикатных переменных. В этом проявляется свойство инвариантности функций (9), для которых справедливы законы де-Моргана:  $\overline{V(\pi_{12}, \bar{\pi}_{12})(y_1, y_2)} = \Delta(\pi_{12}, \bar{\pi}_{12})(\bar{y}_2, \bar{y}_1)$ . Здесь  $\nabla$  есть либо  $V$ , либо  $\Lambda$ , а  $\Delta$  есть либо  $\Lambda$ , либо  $V$ ;  $\bar{y}_i = (2Y_0 - y_i)$  – центрированная инверсия предметных переменных;  $Y_0 = 0.5(Y_{\min} + Y_{\max})$  – центр области определения предметных переменных, заданной интервалом  $[Y_{\min}, Y_{\max}]$  на числовой оси.

Центрированная инверсия совместно с инвариантными дизъюнкцией и конъюнкцией образуют функциональный базис ИАРП. Расширение класса функций ИАРП и наращивания их порядка осуществляется через операцию суперпозиции ранговых предикатов. Например, подставляя в исходное выражение  $V(\pi_{12}, \bar{\pi}_{12})(y_{12}, y_{21}) = \pi_{12}y_{12} + \bar{\pi}_{12}y_{21}$  инвариантные преобразования  $y_{12} = \pi_{23}y_1 + \bar{\pi}_{23}y_2$ ;  $y_{21} = \pi_{34}y_3 + \bar{\pi}_{34}y_4$ , получим  $n$ -арную ( $n=4$ ) дизъюнктивную функцию  $V_a(y) = \sum_{i=1}^{n=4} a_i y_i$  – ФСП вида (1), в которой

$$a = (a_1 = \pi_{12}\pi_{23}; a_2 = \pi_{12}\bar{\pi}_{23}; a_3 = \bar{\pi}_{12}\pi_{34}; a_4 = \bar{\pi}_{12}\bar{\pi}_{34})^T \quad (10)$$

является вектором весовых коэффициентов, порождаемый суперпозицией ранговых предикатов. При инвертировании в (10) всех ранговых предикатов, получим  $n$ -арную конъюнктивную функцию  $V_{\sim a}(y) = \Lambda_a(y)$ . Здесь символом  $\sim$  обозначена операция инвертирования всех ранговых предикатов, входящих в (10).

Каждая конечная последовательность суперпозиционных подстановок ранговых предикатов на последнем шаге порождает базовую систему весовых коэффициентов (БСВК)  $a = (a_i = a_i(\pi_{ij}), i, j = \overline{1, n})^T$ . Для всех простых БСВК каждый  $a_i$  является минтермом (произведением) нескольких ранговых предикатов. В сложных БСВК часть или все  $a_i$  являются суммой нескольких минтермов.

**Определение 6.** Множество всех ФСП, порождаемых операциями суперпозиции ранговых предикатов, совместно с центрированной инверсией, инвариантными дизъюнкцией и конъюнкцией образуют алгебро-логический аппарат, который называется ИАРП.

Для ИАРП остаются в силе все известные аксиомы и свойства скалярных произведений [4], но при этом дополнительно имеют место: распределительные законы  $y \nabla (\text{---}) = \nabla (y \text{---})$ ,

$y \pm \nabla(y) = \nabla(y \pm y), y \in E^1, y \in E^n$ ; идемпотентные законы  $\nabla(y) = \Delta(y) = y \in E^1$ ; законы булева поглощения  $\nabla[y_1, \Delta(y_1, y_2)] = y_1$ ; сочетательные законы  $\nabla[y_1, \nabla(y_2, y_3)] = \nabla(y_1, y_3)$ ; законы отрицания  $\nabla(\overline{y_1, \dots, y_n}) = \Delta(\overline{y_1}, \dots, \overline{y_n})$ .

При отождествлении в (9) предметных и предикатных переменных ( $y_i = u_i, i = \overline{1,2}$ ) получим элементарные функции нечеткой (непрерывной, бесконечнозначной) логики (НЛ)

$$z_1 = V(\pi_{12}, \overline{\pi_{12}})(u_1, u_2) = \max(u_1, u_2); \tag{11, а}$$

$$z_2 = \Lambda(\pi_{12}, \overline{\pi_{12}})(u_1, u_2) = \min(u_1, u_2). \tag{11, б}$$

Здесь  $\max$  и  $\min$  есть символы НЛ-дизъюнкции и НЛ-конъюнкции. В (11) предикатные и переменные совпадают, но не смотря на это для НЛ остаются в силе все свойства и законы ИАРП при прямой замене операций  $V$  и  $\Lambda$  на  $\max$  и  $\min$ . Функции (11) являются порождающими для многозначной логики (МЛ). В этом случае переменные принимают  $M$  фиксированных (разрешенных) значений. Следовательно, ИАРП является порождающей для НЛ и МЛ.

При отождествлении предметных и предикатных переменных следующим образом:  $y_i = u_i \in \{0,1\}, i = \overline{1,2}$ , инвариантные дизъюнкция (9, а) и конъюнкция (9, б) трансформируются соответственно в булевы дизъюнкцию

$$z_1 = V(\pi_{12}, \overline{\pi_{12}})(u_1, u_2) = u_1 \vee u_2 \tag{12, а}$$

и конъюнкцию

$$z_2 = \Lambda(\pi_{12}, \overline{\pi_{12}})(u_1, u_2) = u_1 \wedge u_2. \tag{12, б}$$

Отсюда следует взаимосвязь между БА и ИАРП: функции (12) связаны между собой операцией перестановки предметных переменных в (9).

## 2. Элементарный базис ИАРП

Функциям ИАРП могут быть поставлены в соответствие топологические модели. Под топологической моделью понимается сигнальный граф, который обладает следующими двумя особенностями. Во-первых, ранговые предикаты есть передачи ветвей графа (рис. 1а). Во-вторых, узлы графа, в которые входят две и более ветви, являются символами алгебраического суммирования (рис. 1, б).

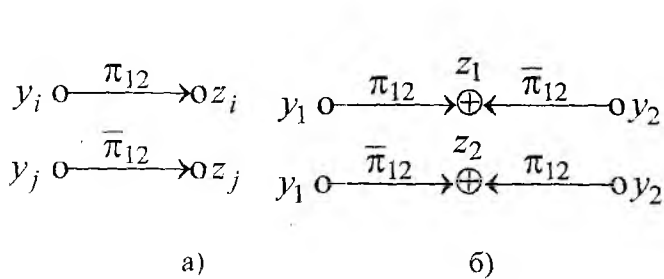


Рис. 1. Сигнальные графы для моделирования функций ИАРП.

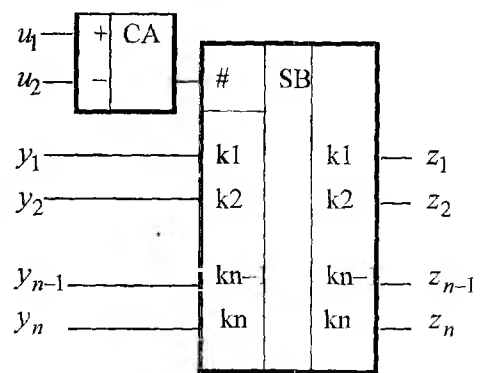


Рис. 2. Схема АЛЭ

Сигнальному графу по рис. 1а соответствует схема аналогового логического элемента (АЛЭ), представленная на рис. 2. Здесь СА – компаратор; SB – коммутатор. Принцип действия схемы АЛЭ основан на управлении состоянием проводимости группы каналов ( $k_i \rightarrow k_i, i = \overline{1,n}$ ) коммутатора и заключается в следующем.

Пусть предикатные переменные, поданные на неинвертирующий (+) и инвертирующий (-) компараторные входы АЛЭ, связаны отношением  $u_1 > u_2$ . В этой ситуации на управляющем входе #

коммутатора возникает напряжение, соответствующее уровню логической единицы. В результате каналы ( $k_p \rightarrow k_p$ ,  $p=1, 3, \dots, n-1$ ) и ( $k_q \rightarrow k_q$ ,  $q=2, 4, \dots, n$ ) переводятся соответственно в состояние низкого и высокого выходного сопротивления. При этом на выходах схемы АЛЭ возникают сигналы

$$\left. \begin{aligned} z_p &= \pi(u_1 - u_2)y_p = \pi_{12}y_p = y_p, p = 1, 3, \dots, n-1; \\ z_q &= \pi(u_2 - u_1)y_q = \bar{\pi}_{12}y_q = 0, q = 2, 4, \dots, n. \end{aligned} \right\} \quad (13, a)$$

Здесь  $y_p$  и  $y_q$  есть предметные переменные на переключательных входах  $k_p$  и  $k_q$  схемы АЛЭ.

Если предикатные переменные связаны отношением  $u_1 < u_2$ , то сигналы на выходах схемы АЛЭ принимают значения

$$\left. \begin{aligned} z_p &= \pi(u_1 - u_2)y_p = \pi_{12}y_p = 0, p = 1, 3, \dots, n-1; \\ z_q &= \pi(u_2 - u_1)y_q = \bar{\pi}_{12}y_q = y_q, q = 2, 4, \dots, n. \end{aligned} \right\} \quad (13, б)$$

Инвариантные преобразования (13) определяют класс операций кодирования ранга номером канала. Такое кодирование осуществляется по двум информационным признакам: по номеру возбужденного канала ( $z_i \neq 0$ ) и по уровню предметных переменных  $y_i$ .

*Определение 7.* АЛЭ, который реализует операцию кодирования ранга номером канала, называется рангер.

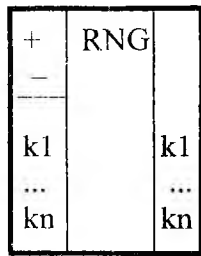
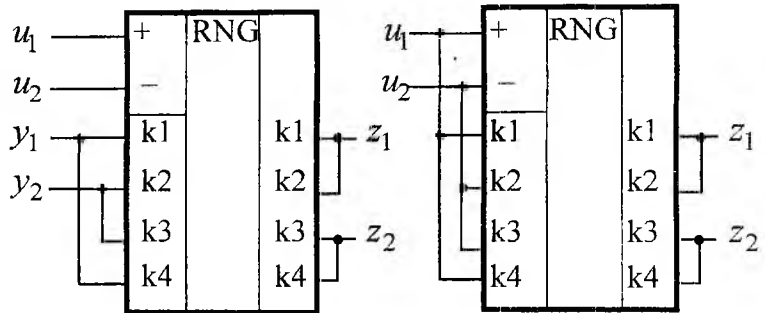


Рис. 3



а) б)  
Рис. 4. Схемы настройки рангера.

На рис. 3 приведено условное обозначение рангера. Он является многофункциональным схемным элементом общего применения, так как может быть настроен на воспроизведение всех элементарных (бинарных) функций ИАРП. Настройка на требуемую функцию осуществляется путем межсоединений выводов схемы рангера. Структура межсоединений определяется по топологической модели соответствующей функции.

На рис. 4, а представлен сигнальный граф, который является топологической моделью для функций (9). На рис. 4, б приведена схема настройки рангера на воспроизведение этих функций. По первому  $Z_1$  и второму  $Z_2$  выходам рангер воспроизводит соответственно инвариантные дизъюнкцию (9, а) и конъюнкцию (9, б). На рис. 4, в представлена схема настройки рангера на воспроизведения функций ИЛ. По первому  $Z_1$  и второму  $Z_2$  выходам рангер воспроизводит соответственно функции (11, а) и (11, б).

Рангеры по рис. 4 можно рассматривать как электрические модели нейронов, воспроизводящие логические функции с идентификацией рангов предикатных переменных. При этом осуществляется пространственное кодирование номером канала без дополнительных образцовых мер сигналов, функции которых выполняют предикатные переменные. При такой трактовке рангеры являются коммутационными нейронами [1], обладающие свойством инвариантности к распределению предикатных переменных.

### 3. Синтез НПС в рамках ИАРП

В основе детекторной теории нейрокибернетики лежит принцип пространственного кодирования параметра (возбуждающего воздействия) номером канала (местом возникновения возбуждения на множестве нервных клеток головного мозга) [1]. В рамках ИАРП математические модели для НПС с кодированием номером канала представляются в теоретико-множественной форме:

$$z_i = a_i y_i = \begin{cases} 0 & | U \notin R_i \notin Y; \\ y_i & | U \in R_i \notin Y. \end{cases} \quad (14)$$

Здесь  $z_i$  есть  $n$ -арная функция, заданная на множестве предикатных переменных  $U = \{u_1, \dots, u_n\}$  (возбуждающих воздействий) со значениями в двухэлементном множестве  $\{0, y_i \in Y\}$ ;  $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$  – множество предметных переменных;  $R_i \in U^n$  – заданное на множестве  $U$  отношение, для которого  $a_i = 1, a_j = 0 \forall j \neq i$ ;  $U^n$  –  $n$ -я декартова степень множества  $U$ ;  $a_i$  – весовые коэффициенты, подлежащие определению;  $i = \overline{1, n}$ .

Алгоритм определения весовых коэффициентов сводится к обучению распознавания ситуаций (отношений)  $R_i \in \{R_1, \dots, R_n\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ . В основу построения такого алгоритма положен метод предикатно-логического синтеза НПС. Суть этого метода заключается в следующем.

Множество ситуаций представляют в виде набора последовательностей бинарных отношений:  $\{u_{i_1} \sim u_{i_2} \sim \dots \sim u_{i_{n-1}} \sim u_{i_n}\}$ . Здесь  $u_p \sim u_q$  есть либо  $u_p < u_q$ , либо  $u_p > u_q$ ;  $i_1, \dots, i_n$  –  $i$ -я перестановка чисел от 1 до  $n$ .

Бинарным отношениям  $u_p \sim u_q$  ставят в соответствие ранговые предикаты, произведения которых определяют вектор весовых коэффициентов

$$\mathbf{a} = \left( a_i = \prod_{q=1}^n \prod_{p=q+1}^{n-1} \tilde{\pi}_{qp}, i = \overline{1, n} \right)^T. \quad (15)$$

Здесь  $\tilde{\pi}_{pq}$  есть либо  $\pi_{qp} = (u_q - u_p)$ , либо  $\bar{\pi}_{qp} = 1 - \pi_{qp}$ .

Инвариантные преобразования (15) определяют класс алгоритмов предикатно-логического синтеза математических моделей (14) на основе обучения распознавания ситуаций. По математической модели (14) строится ее топологическая модель. На основании топологической модели решается задача аппаратной минимизации на структурном уровне. Решение этой задачи сводится к получению полного класса тождественно эквивалентных функций с использованием законов и свойств ИАРП. Из полученного класса эквивалентных функций выбираются инвариантные преобразования с минимальным числом ранговых предикатов. Таким образом получается минимизированная топологическая модель. В ИАРП такая модель является структурной схемой соответствующей НПС.

По топологической модели (структурной схеме) синтезируется электрическая модель (электрическая схема), поскольку в ИАРП между этими моделями существует прямая однозначная связь, а электрический синтез НПС осуществляется в элементном базисе рангов, адекватном детекторной теории нейрокибернетики.

#### Заключение

Множество ФСП является порождающим для ряда вложенных математических структур: ИАРП  $\supset$  НЛ  $\supset$  МЛ  $\supset$  БА. Из всего ряда вложенных структур наиболее содержательной является ИАРП, так как предметом ее изучения являются логические свойства математических объектов, с помощью которых описываются инвариантные НПС. Свойство вложенности математических структур отражает логическую эволюцию механизма обработки информации в НПС – от элементарных функций БА и МЛ через НЛ к ИАРП, адекватной детекторной теории нейрокибернетики. В отличие от БА, МЛ и НЛ построенная ИАРП базируется на множествах предметных и предикатных перемен-

ных, элементы которых являются соответственно носителями информации о структуре соединений и структуре управления в НПС. Такое свойство ИАРП существенно расширяет возможности аналитического подхода к синтезу НПС в условиях неопределенности.

**Список литературы:** 1. Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г. Нейроинтеллект: от нейрона к нейрокомпьютеру. М.: Наука, 1989. 238 с. 2. Перцептрон – система распознавания образов / Под ред. А.Г. Ивахненко. К.: Наукова думка, 1975. 432 с. 3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992. 223 с. 4. Розенфельд Б. А. Многомерные пространства. М.: Наука, 1966. 648 с.

*Поступила в редколлегию 7.9.2002*

УДК 621.3:681.3

Вал. Н. БУРЦЕВ, Вл. Н. БУРЦЕВ, А. Л. ЕРОХИН

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛПР В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

### Постановка задачи

Сложноорганизованные эргатические системы (СОЭС) являются многокритериальными динамическими системами, эволюционирующими в многомерных фазовых пространствах.

Представляет интерес исследование системы психофизиологических состояний лица, принимающего решения (СПФС ЛПР), как одного из компонентов управления СОЭС. В первую очередь это относится к психологической готовности ЛПР оперативно оценивать нестандартные ситуации, сложившиеся в СОЭС, и принимать адекватные решения. Устойчивость СПФС ЛПР в СОЭС обеспечивает неизменное информационное состояние, которое, как критерий, может быть далее исключено из рассмотрения динамической задачи.

### Взаимодействия СОЭС и СПФС ЛПР со стохастическими воздействиями

Универсальными механизмами обеспечения внутрисистемной стабильности в двух классах сложноорганизованных систем СОЭС и СПФС ЛПР являются гомеостазис и гетеростази́с [1,2]. При этом переход из состояния гомеостазиса в гетеростази́с достигаются при воздействии дополнительных внутренних или внешних факторов [3].

СОЭС и СПФС ЛПР будучи сложными, открытыми и нелинейными системами обладают спектром альтернативных путей развития (аттракторов) [4-6]. Эволюция системы – это переходы ее из одного аттрактора в другой в состоянии ее неустойчивости или возврат неустойчивой системы в исходный аттрактор. Эти переходы происходят в соответствующие моменты неустойчивости системы при воздействиях резонансных хронотопов [6]. Таким образом, посредством специально подобранных экзогенных воздействий возможно обеспечить устойчивость СПФС ЛПР, что может явиться фактором обеспечения устойчивости всей СОЭС.

### Обеспечение внутрисистемной стабильности СПФС ЛПР посредством экзогенных воздействий в режимах резонансного хронотопа

Экспериментами [7–10] была доказана высокая эффективность регуляции системы СПФС ЛПР, при воздействии цветowych динамических изображений (ЦДИ) [11-13]. ЦДИ могут рассматриваться как визуальные аналоги детерминированных хаотических процессов (ДХП), развивающихся на дискретных фазовых плоскостях [14]. Для формирования ЦДИ – ДХП использовались волоконно-оптические преобразователи (ВОП) двумерных изображений [2,3].

Исходя из основных положений синергетики [4-6] проведем классификацию СПФС ЛПР на два класса. Основным признаком классификации примем степень включенности в психологические процессы основных когнитивных функций человека, являющихся базовыми операторскими функциями ЛПР [8]. К первому классу отнесем СПФС, в структуры-процессы которых вовлечены психические механизмы [15,16] перехода ощущений на уровень перцепции, сенсорноиконического хранения информации, опознания, манипулирования разнонаправленными сенсорными образами, активация семантических преобразований, характеризующих восприятие. Приведенная классификация СПФС является весьма условной, так как психические структуры – процессы и их спектр устойчивых состояний (аттракторов) условно располагаются как бы между “полем сознания” субъекта и его “подсознанием” [15]. Для удобства формализации считаем, что спектр аттракторов ограничен снизу психологическими структурами – процессами ощущений – перцепций, а сверху – границей восприятий – представлений. Тем самым рассматриваемый класс организует открытое, многоуровневое семантическое пространство.

Ко второму классу будут отнесены СПФС ЛПР, структуры-процессы которых эволюционируют на “поле мозга и сознания” [16] и включают психологические механизмы активация внимания, удержание информации в кратковременной памяти (КВП) и организация ответов, взаимодействие КВП и долговременной памяти (ДВП), активация ДВП. Множество СПФС ЛПР этого класса составляют основу креативности человека и образует открытое, многоуровневое вербальное пространство.

Для регуляции СПФС ЛПР наиболее интересными являются психологические процессы, локализованные в первом классе, так как относительно “поля сознания” СПФС субъективного уровня носят диффузный характер и их исследования определяет возможность выбора такого внешнего невербального воздействия, способного достичь, по крайней мере, двух основных задач. Первая из них – вернуть СПФС ЛПР из неустойчивого состояния в предыдущее в границах исходного аттрактора, вторая – перевести СПФС ЛПР в новое устойчивое состояние (вести систему в новый аттрактор).

### **Психофизиологические механизмы взаимодействия неустойчивых систем ПФС ЛПР с ЦДИ**

Основными внешними воздействиями на систему ПФС ЛПР будем рассматривать разнообразные стрессовые нагрузки (стрессоры [3]). Для задач обеспечения устойчивости СПФС ЛПР будем рассматривать в основном стрессоры, вызывающие развитие стресса – монотонии [8]. При предъявлении ЛПР длительных и циклически повторяющихся внешних стимулов реакцией центральной нервной системы (ЦНС) является включение механизмов фильтрации этих стимулов [17] и исключения их из поля внимания [16]. На фоне этого развивается стресс монотонии и резко снижаются когнитивные функции ЛПР. СПФС ЛПР после стрессового воздействия переводится в неустойчивое состояние.

Четко определенные эмпирические границы цветового символизма [21] дают возможность широко применять цвет для восстановления стабильности СПФС, при условии, что цвет не вызывает монотонии. Это становится возможным при использовании ЦДИ, основные параметры которых (цвет, интенсивность и длительность) изменяются хаотическим образом в виде множества абстрактных цветовых образов. Указанные образы каждое мгновение времени изменяют свои формы, создавая в высшей степени неопределенную знаковую структуры. Неопределенность знаковой структуры ЦДИ определяется комбинаторными подстановками [22], а абстрактность форм – компактным объединением гомеоморфизмов [23].

Динамика переходов психических процессов первого класса с нижних уровней ощущений на более высокие становятся возможными, если ощущения полимодальные и их интенсивность обеспечивает возбуждение большого числа нейронов соответствующих проекционных зон мозга [21, стр.46]. Для психологических процессов этого класса, включающих механизмы переходов “ощущений” с уровня “пространственного поля –  $S_{1,2}$ ” на уровень “действий  $E_{1,2}$ ” [22] может быть предложен нейропсихологический механизм взаимодействий ЦДИ и СПФС ЛПР. По видимому, этот механизм взаимодействия реализуется в режиме резонансного хронотопа..

Для процессов второго класса на уровне концептуальных структур [22] для объяснения взаимодействия ЦДИ и СПФС ЛПР может быть предложена гипотеза, основанная на механизмах циклически изменяемых процессов ассоциации – концентрации.

Гипотеза нейропсихологического взаимодействия ЦДИ с ПФС может быть описана следующей последовательностью:

- 1) цветовой стимул от ЦДИ проецируется на сетчатку глаза и первично кодируется [16], после чего сигнал поступает в соответствующие проекционные зоны поля мозга [21];
- 2) нервные импульсы спускаются по колонкам нейронов с верхних слоев проекционных зон к нижним, индуцируя медленные импульсы торможения, направленные встречно [21];
- 3) спектры нервных импульсов и медленных волн, посредством интермодальных переходов коллатералей аксонов нейронов, поступают в другие проекционные зоны на различных уровнях “поля мозга”, например, через зону гиппокампа, лимбической системы и областей гипогаламуса, образующих круг Папеца или “эмоциональный мозг” [21];
- 4) чем интенсивнее воздействие или чем “интереснее” структура воздействия, тем больше объем коры и подкорки мозга задействовано во взаимодействиях и регуляции СПФС ЛПР.

Рассмотрим процесс генерации ЦДИ-ДХП. Комбинаторно-топологическое кодирование изображений посредством ВОП представляет собой хаотический ансамбль дискретных спектров частот цветовых стимулов, модулируемых в диапазоне частот от 2 до 12 Гц. Максимальная частота единичного цветового импульса для физической модели с ВОП изображений составляет 24-30 Гц. Так как ЦДИ делает возможным длительно удерживать абстрактные цветовые поля в поле внимания ЛПР, то во времени обеспечивается на проекционных зонах зрительного анализатора и мозга постоянный уровень возбуждения. Знаковая неопределенность ЦДИ как бы отключает механизмы фильтрации ЦНС однотипных стимулов. Зато стимулируемыми для заинтересованных структур сознания-

подсознания становятся механизмы структурирования цветового хаоса, путем выделения из цветового ансамбля спектров некоторых ведущих цветовых ритмов ЦДИ и их частот.

Так, например, при предъявлении ЛПР ЦДИ с доминирующими оттенками красного цвета, модулированных в частотных пределах бета-волн электрической активности мозга в экспериментах фиксировалась активация СПФС. Однако достаточно было снизить частоту модуляции “красного активирующего поля” до частот альфа-ритма, как доминирующим становился режим релаксации СПФС. Последнее подтверждалось изменением основных физиологических показателей [8]. Эти эксперименты показывают, что ведущим механизмом нейропсихологических взаимодействий ЦДИ и СПФС ЛПР являются частотно-резонансное усиление или ослабление интенсивности ведущих эндогенных ритмов гомеостаза. Это подтверждается исследованиями [17]. Кроме известных “альфа, бета, дельта и тета” волн электрической активности мозга существует ряд других эндогенных ритмов, таких как колебания биологических процессов в “трехсекундном ритме” [17], частота сердечных сокращений, дыхания и т.д. Любой из перечисленных ритмов при определенных условиях могут являться параметром модуляции ЦДИ, обеспечивая тем самым возможность когерентного взаимодействия с наведенными извне цветовыми частотами. Благодаря разветвленной системе аксонов мозга разнообразные когерентные взаимодействия эндогенных ритмов с экзогенными ритмами могут происходить в его различных проекционных зонах. Исследованиями [17,23] показано существование в глубоких слоях мозга многообразных постоянных и переменных связей между модальностями, что дало основание Ухтомскому А. А. назвать эти интермодальные связи “функциональными органами” [24], обеспечивающими человеку различные виды сенсорно-перцептивной ориентации в окружающей среде. Ввиду того, что регулирующие центры интрацептивных уровней управления физиологическими процессами находятся в глубинных слоях подкорки, когерентно-резонансное усиление (ослабление) амплитуд эндогенных ритмов способно косвенно воздействовать на эти центры управления. С позиции синергетики, внешне наведенные цветовые ритмы избирательно воздействуют на те структуры сознания – подсознания, которые в данный момент времени становятся „топологически” и „темпорально” эквивалентными одному из эндогенных ритмов.

Рассмотрим теперь механизм взаимодействия ЦДИ со структурами-процессами когнитивных состояний [25]. При предъявлении ЛПР разнообразных ЦДИ-ДХП в сознательный процесс ЛПР активно включается подсознание на уровне эмоциональных проявлений. При высокой степени неопределенности знаковой организации ЦДИ чувственный компонент мышления преобладает над логическим. При дефиците времени в бессодержательной первоначальной фазе перцептивного акта эмоциональный компонент проявляется заметнее всего. Дефицит времени в сочетании с частотным характером стимулов, абстрактностью форм и неопределенностью знаковой структуры ЦДИ является одним из механизмов переключения когнитивной функции – внимания. Так в процессе восприятия образа имеют место два противоположных, контрастных психологических процесса – ассоциация и концентрация [26]. Волна ассоциаций устанавливается именно в режиме концентрации, для которой необходим определенный интервал  $\Delta t$  времени для синтеза. Ассоциированный объект внимания, извлеченный из памяти, в свою очередь является основой последующей ассоциации, что порождает цепочку связанных ассоциаций, определяющих последовательный ход мыслей. При динамическом представлении ЦДИ возникает дефицит времени, который приводит к обрыву цепи ассоциаций при переключении внимания на новые фрагменты ЦДИ. Из этого следует, что динамически изменяемые цветовые образы, получаемые после преобразования исходных изображений, обладают высоким значением важности [22].

На основании известных исследований определим минимальные значения времени  $\Delta t$ , которое необходимо для восприятия ЛПР образа во время предъявления ему ЦДИ. Известно, что информация в КВП кодируется в виде акустических, визуальных и семантических кодов [27-30], при этом часть времени информация в КВП кодируется зрительно в иконической памяти [28]. Обработка визуальной (цветовой) информации в КВП после ее восприятия кодируется несколькими различными системами и с различной продолжительностью. Так для цветовой информации различают три типа кодов: физический код цвета, код названия цвета и концептуальный или ассоциативный код. Экспериментально установлено, что код цвета, после предъявления стимула, возникает через 500 мсек, а код ассоциации – через 1500 мсек [28]. Из этого следует, что для эволюции цепи “ассоциаций к образу” человек должен иметь временной интервал  $\Delta T_a \gg (500 - 1500)$  мсек.

## Использование воздействий ЦДИ для восстановления системы ПФС ЛПР

Известно [8], что более 60% людей различных возрастных групп составляют лица с донозологическими отклонениями в состоянии здоровья и пограничными психическими расстройствами. В круг основных факторов, обуславливающих риск накопления дефектов регуляции со стороны центральных структур мозга, входят монотония, гиподинамия, информационный "голод", психоэмоциональные перегрузки [8-10,32], а также нестабильность социально – психологической обстановки в обществе, названной Селье [1] фактором "потери социальной мотивации". На основе ЦДИ разработаны методики цветодинамического воздействия (ЦДВ) ("СЕНСОРЕЛАКС", "МОНОТОНИЯ", "АДАПТАЦИЯ"). Получены данные о повышении эффективности метода реабилитации на 70-80%. В 20-25% – результаты не были обнаружены и в 5% результаты расценивались как противоречивые [8-10].

### Заключение

1. Предложено ЦДИ использовать в качестве резонансного хронотопа, взаимодействующего с эндогенными, системорегулирующими функциями (процессами) в СПФС ЛПР.
2. На основании синергетического подхода рассмотрены процессы взаимодействия двух неустойчивых структур, первая из которых ЦДИ является физической и управляемой, а вторая – СПФС ЛПР слабоуправляемой.
3. Предложены две гипотезы взаимодействий ЦДИ и СПФС ЛПР, одна из которых основана на нейропсихологических механизмах резонансных взаимодействий эндогенных и экзогенных ритмов, а вторая – на психологических механизмах ассоциации – концентрации.
4. По результатам исследований взаимодействий ЦДИ и СПФС разработаны методики психологической реабилитации ЛПР, обеспечивающие снижение вероятности принятия им неадекватного решения на фоне развивающегося стресса.

**Список литературы:** 1. Селье Г. Стресс без дистресса. Рига: Виеда, 1992. 109 с. 2. Бондаренко М.Ф., Бурцев В.Н., Бурцев Вл.Н., Ерохин А.Л. Моделирование стохастических процессов и их применение в практической психологии // Системный анализ, управление и информационные технологии. Вестник ХГПУ: Сб. науч. трудов. Вып. 99. Харьков: ХГПУ, 2000. С. 11-14. 3. Бурцев Вал.Н., Бурцев Вл.Н., Ерохин А.Л. Анализ связей сложноорганизованных систем с гомеостатическим и гетеростатическим управлением. // Системный анализ, управление и информационные технологии // Вестник НТУ "ХПИ" 2001: Сб. науч. трудов. Тематический выпуск: Автоматика и приборостроение. Харьков: НТУ "ХПИ". 2001. № 4. С. 20-23. 4. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 432 с. 5. Пригожин И. Природа, наука и новая рациональность (В поисках нового мироощущения). М., 1991. 6. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировоззрение. Диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. 1992. №12. 7. Принцип комбинаторно-топологических преобразований первичной информации невербального типа в цветодинамические изображения и феномен их влияния на психофизиологическое состояние человека: Свидетельство о регистрации авторских прав ПЛ №1240 от 25.06.1998. Госагентство Украины по авторским и смежным правам / В.Н. Бурцев, Вл. Н. Бурцев. 8. Корнелиюк В.А., Давыдов Д.М. Использование цветодинамических приборов для компат психологической разгрузки персонала // Новые промышленные технологии. Минатом. 1997. Вып.4 (279). С.82-90. 9. Организация и использование медико-исследовательского комплекса по оценке и обеспечению работоспособности личного состава ГПС: Методологические рекомендации ВНИИПО МВД РФ. Москва, 1992. 141 с. 10. Характеристика состояний психической дезактивации у сотрудников пожарной охраны в напряжённых и экстремальных условиях деятельности и их профилактика. Методические рекомендации. М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. 19 с. 11. Патент России № 2124747, МКН G02B 6/04 Велоотно-оптический преобразователь изображений / В.Н. Бурцев, Вл.Н. Бурцев. Оpubл.10. 01. 1999 г. Бюл. № 1. 12. Патент России № 1320585, МКН F 21/03/00. Устройство формирования цветowych изображений: / В.Н. Бурцев, Вл. Н. Бурцев. Оpubл. 30.06.87. Бюл. № 3. 13. Бурцев В.Н., Гусов Ю.В., Ерохин А.Л. Формализация модели оптического волоконного системного канала // Проблемы бионики. 2002. Вып.56. 14. Ерохин А.Л., Бурцев Вал. М. Застосування теорії груп підстановок для моделювання детермінованих хаотичних процесів // Системи обробки інформації. Зб. наук. праць. Харків: НАНУ, НАНМ, ХВУ, 2001. Вип. 6(16). С. 20-23. 15. Гиппенрейтер Ю. Б. Введение в общую психологию. М.: ЧеРа, 1998. 336 с. 16. Зенкин Г.М., Петров А.П. Функциональная организация зрительного процесса и принцип гельштата // Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987. С. 265-293. 17. Федоров Л.И. Эндогенные ритмы организма как факторы модуляции параметров стимуляции // Биофизика, 1996, Т. 41. Вып. 3. С. 718-724. 18. Клар Г. Тест Люшера: Психологическая характеристика восьми цветов // В кн.: Магия цвета. Харьков. Сварог, 1996. 432 с. 19. Бурцев Вал.Н., Бурцев Вл. Н., Ерохин А.Л. Способ моделирования стохастических процессов с помощью топологических преобразований // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 151-157. 20. Бурцев Вал.Н., Бурцев Вл. Н., Ерохин А.Л. Исследование стохастических процессов комбинаторно-топологического преобразования инфор-

матии. Сообщение 1 // Радиотехника и информатика. 2001. № 4(13). С. 44-48. 21. Прибрам К. Языки мозга. М.: Прогресс. 1975. 22. Дорфман Я.Г., Сергеев В. М. Нейроморфогенез и модели мира в сетях нейронных процессов. Сб. "Интеллектуальные процессы и их моделирование". М.: Наука, 1978. С. 39-65. 23. Величковский Б.М., Капица М.С. Психологические проблемы изучения интеллекта // Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987. С. 120-141. 24. Ухтомский А.А. Доминанта, как фактор поведения // В кн.: Собр. соч. Л., 1950. Т.1. С.293-315. 25. Solso R.L. Cognition and Visual Arts, Cambridge, MA: The MIT Press, 1994. 26. Кызеева Е.Н., Курдюмов С.П. Интуиция как самодостраивание // Вопросы философии № 2, 1994. 27. Ruggieri V., Morelli J. Chromatic perception in relation to an hypothesized cerebral dominance // Percept and Mot. Skills, 1985, v. 60, pp. 583-589. 28. Conrad R. Acoustic confusions and memory span for words // Nature, 1963, v. 197, pp. 1029-1030. 29. Conrad R. Short-term memory progresses in the deaf // British Journ. Psychologie, 1970, v. 61, pp. 179-195. 30. Posner M.I., Bories S. I., Eichelman V., Taylor R.I. Retention of visual and namt codes of single letters // J. of Exp. Psychology Monographs, 1969, v. 79, pp. 1-16. 31. Tversky A., Hutchinson J.W. Nearest neighbor analysis of psychological spaces // Psychological Review, 1986, v. 9, NO 3, pp. 3-22. 32. Леонова А.Б., Кузнецова А.С. Психопрофилактика неблагоприятных функциональных состояний человека: Учебное пособие. – М.: МГУ, 1987. – с. 15.

Поступила в редколлегию 23.05.2002.

УДК 656.13.072/.073

Ю. А. ДАВИДИЧ

## НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

Проблема обеспечения безопасности движения стала особенно актуальной из-за роста количества предприятий, осуществляющих перевозку грузов и пассажиров. С выходом на рынок транспортных услуг предприятий с различной формой собственности ухудшился контроль за соблюдением нормативов продолжительности работы и отдыха водителей, контроль за состоянием водителя перед выездом и в течение рабочего дня. Это привело к росту количества дорожно-транспортных происшествий, произошедших вследствие неудовлетворительного состояния водителя. Для решения проблемы повышения безопасности движения уже недостаточно сведений, поставляемых только традиционными методами исследования режима движения, в котором водитель выступает в неявной форме. Это не только ограничивает точность исследований, но и может служить причиной ошибочных выводов [1]. Недостаток сведений о психофизиологических возможностях водителя уже длительное время испытывается при проектировании технологических процессов на автотранспорте.

Автомобили выполняют свои функции под управлением водителя. Его состояние определяет возможность выполнения задания на перевозку и безопасность движения при этом. Кроме того, параметры функционирования автомобильного транспорта влияют на состояние водителя. Таким образом, наблюдается взаимосвязь между параметрами транспортной системы и состоянием водителя. Выбранная технология перевозок определяет затраты труда водителя. Современное состояние организации перевозочного процесса характеризуется наличием разрыва между общими требованиями к автотранспортным технологическим процессам и психофизиологическими возможностями водителя выполнять параметры данного процесса. Разработка мероприятий по организации транспортного процесса с учетом состояния водителя позволит снизить вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий, которые произошли вследствие неудовлетворительного состояния водителя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить формальные характеристики взаимосвязи параметров автотранспортных технологических процессов и состояния водителя.
2. Разработать алгоритм моделирования параметров автотранспортных технологических процессов с учетом состояния водителей.
3. Разработать методику:
  - профессионального отбора водителей;
  - тестирования водителей перед выездом;
  - выбора оптимальных параметров автотранспортных технологических процессов с учетом состояния водителей;
  - выбора оптимальных режимов труда и отдыха водителя.

На первом этапе проведения исследований возникает необходимость в обосновании показателя, с помощью которых возможно оценить функциональное состояние водителя. Функциональное состояние – это комплекс личностных характеристик тех функций и качеств человека, которые прямо или косвенно обуславливают выполнение трудовой деятельности [2]. По данным исследований [3], вождение автомобиля оказывает наиболее сильное воздействие на состояние сердечно-сосудистой и нервной системы водителей, при этом сказываются не только физические, но и эмоциональные нагрузки [4]. Для оценки функционального состояния человека был предложен интегральный критерий – показатель активности регуляторных систем (РАРС), который авторы назвали ПАРС. Значение данного показателя определяется по результатам обработки кардиограммы [5]. Он представляет собой сумму условных баллов и в зависимости от его величины определяется в каком состоянии находится человек: до 3 баллов – нормальное состояние, с 3 до 6 баллов – состояние напряжения, с 6 до 8 баллов – состояние перенапряжения, с 8 до 10 баллов – истощение. При этом также учитывается количество положительных и отрицательных баллов, участвующих в формировании суммарного значения. С использованием данного показателя оценивалось влияние условий передвижения пассажиров на их транспортную утомляемость [6]. Показатель активности регуляторных систем предлагается использовать для взаимосвязи параметров автотранспортных технологических процессов и состоянием во-

дителя. За основу соответствия структуры выборки водителей генеральной совокупности было принято их распределение по типу нервной системы. Для выбора количественного соотношения обследуемых по принадлежности к какой-либо группе типа нервной системы использовались ранее опубликованные данные: сангвиников – 26-30%, холериков – 28-31%, флегматиков – 25-27%, меланхоликов – 15-19% [7]. Для оценки типа нервной системы использовался специальный типологический опросник [8].

Исследования проводились на базе автотранспортных предприятий г. Харькова: ОАО «АТП-16354», ОАО «АТП-16363», ОАО «АТП-16364».

В качестве фиксируемых факторов использовались:

- скорость движения, среднее количество полос движения на маршруте в направлении следования, расстояние видимости дорожного покрытия и коэффициент сцепления колеса с дорогой (группа дорожных факторов);
- ширина автомобиля; длина автомобиля; удельная мощность двигателя (группа факторов, характеризующая технические характеристики грузовых автомобилей);
- длина маршрута, коэффициент использования грузоподъемности автомобиля (группа технологических факторов);
- стаж работы водителя, возраст водителя (группа факторов, характеризующая водителя).

После обработки результатов обследования с помощью стандартных методов статистики была определена многофакторная регрессионная модель, которая описывает изменение состояния водителя после выполнения очередной ездки. Эта модель имеет следующий вид

$$P_n = 0,54 \cdot P_d + 0,002 \cdot T - 0,0004 \cdot L + 1,21 \cdot N_n + 0,01 \cdot V_v \quad (1)$$

где  $P_n$  – показатель активности регуляторных систем после движения по маршруту, баллы;  $P_d$  – показатель активности регуляторных систем до движения по маршруту, баллы,  $T$  – время движения, с.,  $L$  – длина ездки, м.,  $N_n$  – среднее количество перекрестков на маршруте, ед.,  $V_v$  – возраст водителя, лет.

Для модели (1) значение множественной корреляции равняется 0.98, что говорит о высокой степени тесноты связи между зависимой и независимыми переменными. Рассчитанное значение критерия Фишера составило 506,99, а табличное 1,39, это свидетельствует про высокую информационную возможность. Адекватность модели оценивается средней ошибкой аппроксимации. Значение данного показателя равняется 11,6%. Это дает основания утверждать, что данная модель описывает изменение показателя активности регуляторных систем водителя грузового автомобиля после следования по маршруту с достаточной степенью точности.

Так как рассчитанная модель учитывает влияние пяти факторов на состояние водителя, то получить конкретные значения, которые характеризуют состояние водителя определенного типа невозможно вследствие многовариантности. Поэтому проанализируем данную модель, определив предельные значения исследуемых факторов.

Представим в графическом виде факторное пространство анализируемой модели. Ось  $X$  определяет время движения по маршруту, ось  $Y$  – расстояние перевозки груза, а ось  $Z$  – показатель активности регуляторных систем водителя после движения по маршруту.

В соответствии с минимальными и максимальными значениями исследуемых факторов фиксируем детерминированными следующие параметры: при благоприятных условиях движения  $P_d=1$ ,  $K_n=1$ ,  $V_v=24$ ; при неблагоприятных -  $P_d=9$ ,  $K_n=2,76$ ,  $V_v=57$ . По полученным исходным данным время движения находится в границах 120-1832 с, расстояние перевозки груза 775-11575 м., а скорость движения 2,9-12,6 м/с (10,5-45,4 км/ч). Данные границы служат ограничениям всех возможных прогнозируемых значений показателя активности регуляторных систем водителя после движения по маршруту следования. Полученная таким способом область допустимых значений представлена на рис. 1.

На данном рисунке представлены две плоскости, ограниченные линиями предельных значений. Допустимой областью является все множество точек, расположенных между ними. Плоскость, которая характеризует более всего благоприятные условия, не пересекает плоскость, соответствующей  $P_n=8$ . Это значит, истощение регуляторных систем водителя наступить не может (на рисунке эта плоскость представлена как плоскость, которая характеризует благоприятные условия движения). Вторая плоскость, которая характеризует наиболее неблагоприятные условия, плоскость  $P_n=8$  пересекает. Линия пересечения данных плоскостей отделяет условия движения, при которых состояние во-

дителя характеризуется истощением регуляторных систем (на рисунке эта плоскость разделена на область истощения регуляторных систем и область перенапряжения регуляторных систем водителя). Анализ данного графика позволяет сделать вывод, что даже при наиболее неблагоприятных условиях возможно такое движение автомобиля, при котором истощение регуляторных систем водителя наступать не будет. Таким образом, при организации транспортного процесса перевозки грузов необходимо учитывать условия движения автомобиля и их влияние на состояние водителя.



Рис. 1.

**Список литературы:** 1. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. М.: Транспорт, 1980. 311 с. 2. Введение в эргономику. / Под ред. В.П. Зинченко. - Москва: Советское радио, 1974. 352 с. 3. Молдовская С.И., Загородная В.Ф. Физиологическое обоснование рационального режима работы водителей такси // Физиология человека, 1976. Т. 4, № 2. С.318-322. 4. Вольпер Г.И. Физиологическое обоснование режимов труда водителей автомобилей занятых перевозками пассажиров. В сб.: Медико-биологические проблемы трудовой деятельности водителей автомобилей. М., 1979. С. 112-114. 5. Баевский Р.М., Кириллов О.Н., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. 222 с. 6. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупнейших городах: Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. М.: МАДИ, 1993. 301 с. 7. Гюлев Н.У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора: Дис... канд. техн. наук. Харьков: ХАДИ, 1993. 174 с. 8. Атлас для экспериментального исследования отклонения в психической деятельности человека. К.: Здоровье, 1980. - 91 с.

Поступила в редакцию 20.02.2002.

УДК 656.11.021.2

В. К. ДОЛЯ, М. А. ГРИГОРОВ

**К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ  
И ВЫБОРА ВОДИТЕЛЕМ ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ**

Одной из важнейших задач распределения транспортных потоков является определение величины корреспонденций между районами города [1]. Существующие методы определения матрицы корреспонденций базируются на использовании функции тяготения населения между районами города [2]. Предлагаемые для использования функции тяготения содержат в качестве одного из показателей время движения между районами.

Время движения на транспортном средстве является сложной функцией и может быть представлено в следующем виде (рис. 1)

$$T_D = f(D, T, B), \quad (1)$$

где  $D$  – группа дорожных факторов, характеризующих условия движения автомобилей;  $T$  – группа факторов, характеризующих технические характеристики автомобилей,  $B$  – группа факторов, характеризующих водителя.

При передвижении между районами города водители могут выбирать различные пути следования. Вышеприведенные группы факторов влияют также на выбор водителями пути следования между транспортными районами [1]. Таким образом, определив вид функции (1), можно решать задачу определения функции тяготения и выбор водителями пути следования между транспортными районами. Для достижения поставленной цели необходимо исследовать влияние факторов из выше приведенных групп на время движения легковых автомобилей.

Движение автомобилей осуществляется по существующей улично-дорожной сети. Всю трассу маршрута движения автомобилей возможно разбить на две составляющие:

- участки маршрута между перекрестками;
- перекрестки улично-дорожной сети.

Данное деление трассы маршрута целесообразно, вследствие различных условий движения на этих составляющих. На участках маршрута между перекрестками автомобили двигаются без существенного изменения направления движения в потоке транспортных средств. На перекрестках возможно изменение направления движения автомобилей, что может существенным образом повлиять на скорость их движения. Кроме того, на перекрестках автомобиль может вступать во взаимодействие с транспортными потоками конфликтующих направлений, что также может сказаться на времени прохождения перекрестков. Более того, перекрестки являются местами концентрации дорожно-транспортных происшествий и водитель обязан выбирать соответствующие режимы движения, чтобы не допустить возникновения данных происшествий.

Участки маршрута следования автомобилей между перекрестками можно дифференцировать по условиям движения на следующие составляющие:

- участки с двухсторонним движением;
- участки с односторонним движением.

Необходимость такого деления связана с тем, что улицы с односторонним движением облегчают перемещение транспортных потоков за счет того, что исключается влияние на условия движения встречных потоков транспорта, уменьшаются противоречия между интересами водителей и пешеходов. При этом более эффективно используются все полосы движения [3].

Перекрестки улично-дорожной сети при исследовании времени движения автомобилей также целесообразно разбить на две группы:

- регулируемые перекрестки;
- не регулируемые перекрестки.

На перекрестках данных видов существуют различные условия движения транспортных средств. Функционирующие технические средства регулирования дорожного движения определяют порядок движения транспортных средств, которые в свою очередь могут влиять на режим движения автомобиля. Кроме того, каждую из этих групп перекрестков необходимо разбить на подгруппы в зависимости от направления движения автомобиля:

- с движением прямо;

- с поворотом направо;
- с поворотом налево.

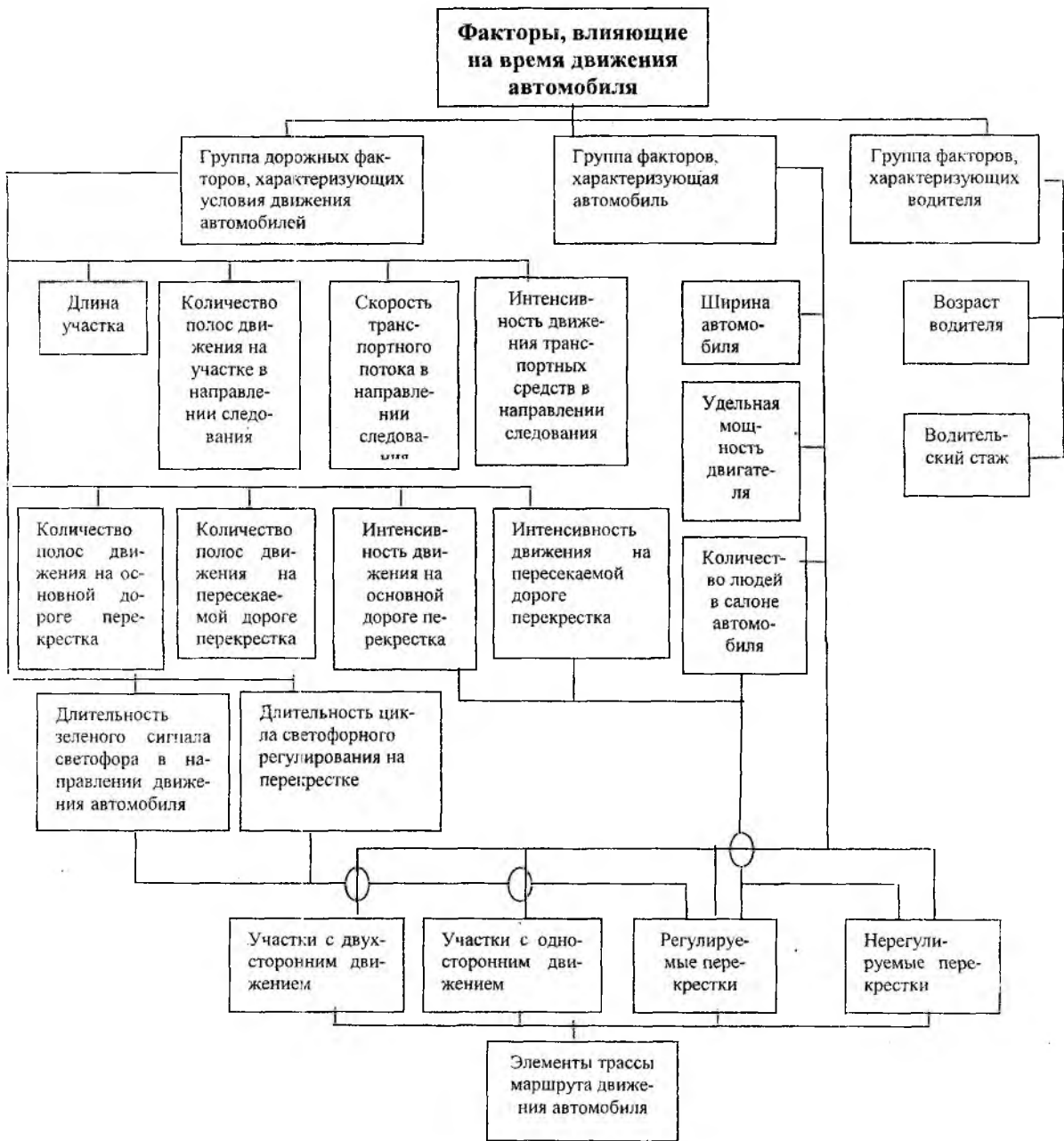


Рис.1

Необходимость создания этих подгрупп обосновывается тем, что в зависимости от направления движения автомобиля происходит различное количество ответвлений, слияний и пересечений транспортного потока, в котором он движется, и конфликтующих транспортных потоков [4]. Наименьшие помехи для движения наблюдаются при ответвлениях. Они могут вызывать лишь некоторое снижение скорости движения автомобиля при выходе его из транспортного потока прямого направления. Значительно большие помехи возникают при слиянии транспортных потоков. Кроме замедления движения автомобиля появляется и опасность столкновения, что также накладывает определенный отпечаток на режим движения автомобилей. Наибольшие сложности связаны с пересечением, так как вероятность столкновения здесь наиболее значительна.

На следующем этапе возникает необходимость в выделении факторов различных групп, приведенных в (1), влияние которых на время движения автомобиля необходимо исследовать. Пользуясь

раннее разработанными рекомендациями [5] были выбраны факторы, оказывающие наибольшее влияние на время движения автомобилей. В качестве параметров, характеризующих автомобиль, можно выделить следующие:

- ширина автомобиля;
- удельная мощность двигателя;
- количество людей в салоне автомобиля;

Ширина автомобиля может влиять на возможность его маневрирования в транспортном потоке. Удельная мощность двигателя может выступать в качестве фактора, характеризующего динамические качества автомобиля [6]. Количество людей в салоне определяет полную массу автомобиля, что в свою очередь влияет на скорость его движения.

В качестве параметров, характеризующих водителя, можно принять:

- возраст водителя;
- водительский стаж.

Опыт и мастерство водителя так же влияет на скорость движения автомобилей [7]. В качестве показателей, оценивающих эти качества, можно использовать возраст водителя и его водительский стаж. Первый показатель может определять продолжительность фаз функционального состояния организма водителя, а второй определяет уровень мастерства вождения.

Ряд факторов, характеризующих дорожные условия движения автомобилей, могут быть общими для участков маршрута и перекрестков, а другие будут различны в виду особенностей движения на этих элементах трассы маршрута. К общим факторам можно отнести следующие:

- расстояние видимости дорожного покрытия;
- коэффициент сцепления колеса с дорогой.

Условия видимости, существенно влияющие на скорость движения [8], возможно оценить расстоянием видимости дорожного покрытия. Коэффициент сцепления, определяемый типом и состоянием покрытия дороги, так же существенно влияет на скорость движения автомобилей [7].

К факторам, характеризующим дорожные условия движения автомобилей на участке маршрута возможно отнести:

- длина участка;
- количество полос движения в направлении следования;
- скорость транспортного потока в направлении следования;
- интенсивность движения транспортных средств в направлении следования.

Длина участка маршрута между перекрестками определяет тот промежуток времени, в течение которого автомобиль сможет двигаться с максимально возможной скоростью. Количество полос движения может определять возможность маневрирования автомобиля в потоке транспортных средств. Скорость транспортного потока в направлении движения является интегральным показателем. На ее значение влияет состав транспортного потока, тип и состояние покрытия дороги, степень ровности и продольный профиль дороги, план трассы. Скорость транспортного потока и интенсивность движения транспортных средств на участке может определять возможность возникновения помех движению автомобилю со стороны других транспортных средств.

Для перекрестков возможно выделить следующие факторы, характеризующие условия движения:

- количество полос движения на основной дороге;
- количество полос движения на пересекаемой дороге;
- интенсивность движения на основной дороге;
- интенсивность движения на пересекаемой дороге.

Количество полос движения на основной и пересекаемой дороге определяют геометрические размеры перекрестка, которые так же влияют на возможность маневрирования при движении на перекрестке. Интенсивность движения на перекрестке, как и в случае участка маршрута, может определять возможность возникновения помех движению автомобиля.

Для регулируемых перекрестков дополнительно целесообразно выделить еще два фактора:

- длительность цикла светофорного регулирования;
- длительность зеленого сигнала светофора в направлении движения автомобиля.

Данные факторы могут определять вероятность преследования автомобиля через перекресток на разрешающий сигнал светофора. Все факторы, рассмотренные ранее, и принятые для исследования, составляют только часть группы дорожных факторов. Оставшуюся часть факторов конкретизи-

ровать достаточно сложно ввиду случайности их возникновения. Это транспортные «пробки», пешеходные переходы, трамвайные остановки и другие, случайно возникающие помехи. Данные факторы будут определять закон распределения фактической скорости движения автомобиля на участке маршрута и перекрестке [9]. Вследствие этого, возникает необходимость в определении законов распределения фактических скоростей движения автомобилей на элементах трассы маршрута.

Экспериментальные исследования проводились в городах Харьков, Луганск, Одесса. Водителю исследуемого автомобиля ставилась задача проехать между двумя пунктами в городе. Перед началом движения в учетной карточке фиксировались параметры водителя и транспортного средства. При движении автомобиля с использованием диктофона голосом на магнитной ленте фиксировались ряд параметров. Для каждого участка маршрута следования между перекрестками:

- момент времени въезда на участок (пересечение створа предыдущего перекрестка);
- наименование улицы или ориентира на пути следования;
- тип и состояние покрытия [10];
- расстояние видимости дорожного покрытия;
- момент времени выезда с участка (пересечение створа последующего перекрестка).

Для каждого перекрестка маршрута:

- момент времени выезда на перекресток (пересечение его створа);
- характер движения (прямо, направо, налево);
- тип и состояние покрытия;
- расстояние видимости;
- момент времени выезда с перекрестка (пересечение его створа).

После прибытия в конечный пункт маршрута в карточке обследования фиксировалось время прибытия, наименование объекта и показание спидометра при прибытии.

Для каждого участка и перекрестка маршрута определялись параметры, характеризующие дорожные условия движения. Для определения интенсивности движения транспортных средств использовались данные Управления ГАИ МВД Украины, кафедры транспортных систем Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, а также собственные исследования, выполненные по ранее опубликованной методике [11]. Таким образом, после обработки результатов обследования были получены данные о времени проследования каждого участка маршрута, каждого перекрестка и условия движения по ним.

С использованием полученных результатов можно разработать модели изменения времени движения автомобилей по участкам маршрутам и пересечения перекрестков, что в свою очередь позволит провести моделирование процесса следования автомобилей между районами города и определить функцию выбора водителями пути следования.

**Список литература:** 1. Ефремов И.С., Кобозев В.М., Юдин В.А. Теория городских пассажирских перевозок. М.: Высш. школа, 1980. 535с. 2. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учеб. Пособие для вузов /Под. ред. В.Н. Луканина. М.: ИНФРА-М, 1998. 408 с. 3. Самойлов Д.С., Юдин В.А. Организация и безопасность городского движения. М.: Высшая школа, 1972. 265 с. 4. Клишковитейн Г. И. Организация дорожного движения. М.: Транспорт, 1981. 240 с. 5. Френкель А.А. Многофакторные корреляционные модели производительности труда. М.: Экономика, 1966. 96 с. 6. Скотников В.А., Мащенко А.А. Солонисий А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 183 с. 7. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. К.: Вища школа, 1986. 447 с. 8. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1982. 288 с. 9. Давидич Ю.А. Разработка мероприятий по сокращению времени ожидания пассажирами городских маршрутных автобусов: Дис... канд. техн. наук. Харьков, 1993. 180 с. 10. Гримкевич А.И. Автомобили: Теория. Минск: Вища школа, 1986. 208 с. 11. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения. К.: Вища школа, 1986. 271 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2002.

УДК 532.529

Н. Н. КИЗИЛОВА, М. Г. СТОЛКИНЕР

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ЖИДКОСТИ И СТРУКТУРЫ ОПТИМАЛЬНОЙ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ

Ткани растений и животных представляют собой неоднородные материалы, функционирование которых обеспечивается жидкостью, циркулирующей по проводящей системе. Транспорт биологических жидкостей в тканях определяет важнейшие процессы – теплообмен, доставку воды и питательных веществ к клеткам и вывод продуктов жизнедеятельности, циркуляцию компонентов системы гуморальной регуляции организма. Транспортные системы представляют собой ветвящиеся трубопроводы, состоящие из цилиндрических проводящих элементов [1–3]. В качестве структурной единицы (модуля) строения биологической ткани можно рассматривать микроциркуляторную ячейку – область среды, в которой происходит тепломассообмен между клетками среды и проводящими элементами. В тканях животных микроциркуляция протекает на уровне мельчайших проводящих элементов – капилляров. В тканях растений по мере продвижения жидкости по проводящим элементам происходит ее отток через стенки элемента к окружающим живым клеткам, поэтому микроциркуляторные ячейки могут быть ограничены и крупными проводящими элементами. При этом вся ткань моделируется как набор взаимосвязанных посредством общих проводящих элементов микроциркуляторных ячеек.

Структура ячейки и закономерности транспорта жидкости исследовались в применении к ряду биоматериалов [2,5–7]. В данной работе проведено исследование закономерностей транспорта жидкости в тканях листа растения. В качестве элементарной микроциркуляторной ячейки выбрана прямоугольная область (рис.1а), что соответствует строению транспортной системы листьев ряда растений (рис.1б). Область ограничена каналами I, II и заполнена пористой средой III, содержащей клетки листа. Жидкость поступает через проницаемые границы каналов в пористую среду за счет разницы давлений, перемещается по области и поглощается клетками. Поглощение жидкости моделируется системой источников массы с отрицательной мощностью (стоками), непрерывно заполняющей область ячейки III. Движение жидкости в ячейке рассматривается как стационарная фильтрация в однородной изотропной пористой среде.

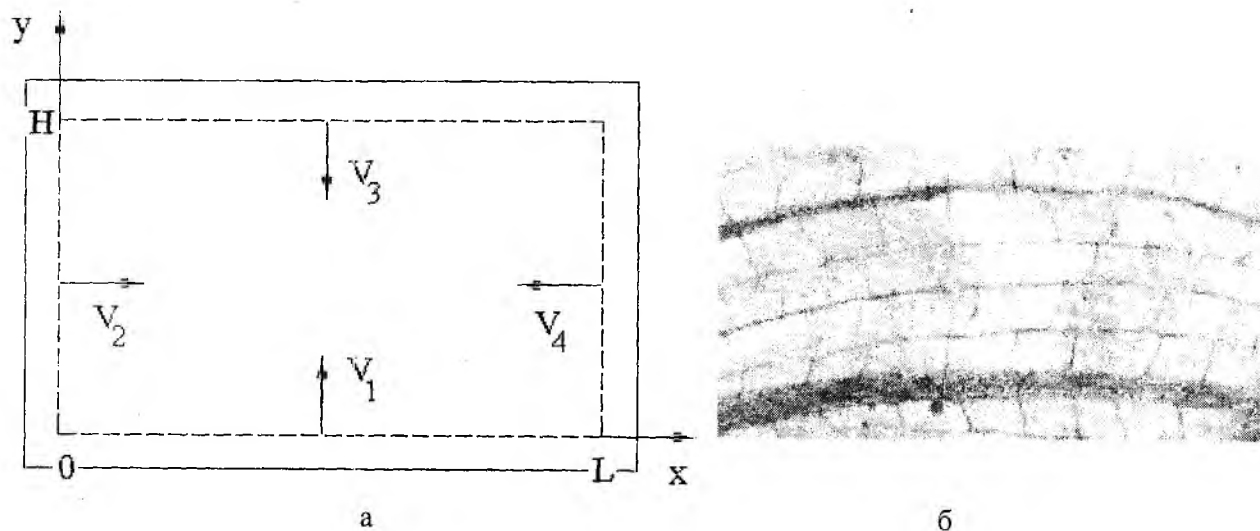


Рис.1.

а – схема строения прямоугольной микроциркуляторной ячейки,  
б – просветленный препарат листа с системой проводящих элементов.

Уравнения стационарной фильтрации несжимаемой жидкости в среде с источниками массы и условия на границах ячейки имеют вид:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{q(x, y)}{\rho} \quad (1)$$

$$\vec{V} = -\frac{k}{\mu} \nabla p \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=0,L} = -\frac{\mu}{k} v_{1,2}(y), \quad \left. \frac{\partial p}{\partial y} \right|_{y=0,H} = -\frac{\mu}{k} v_{3,4}(x) \quad (3)$$

$$\rho \left( \int_0^L (v_1(x,0) + v_3(x,H)) dx + \int_0^H (v_2(0,y) + v_4(L,y)) dy \right) = - \int_0^H \int_0^L q(x,y) dx dy \quad (4)$$

где  $p$  – давление,  $\vec{V} = (v_x, v_y)$ ,  $\rho, \mu = const$  – скорость, плотность и вязкость жидкости соответственно,  $q = q(x, y)$  – мощность источников,  $k = const$  – проницаемость среды. Соотношение (4) отражает баланс между поступлением жидкости через стенки проводящих элементов I, II и поглощением ее в ячейке. Из уравнения неразрывности (1) и закона Дарси (2) получим уравнение Пуассона для давления:

$$\Delta p = -\theta \quad (5)$$

где  $\theta(x, y) = \frac{\mu}{\rho k} q(x, y)$ . Решение задачи Неймана (3), (5) будем искать в виде:

$$p = p_1(x, y) + p_2(x, y),$$

где

$$\Delta p_1 = \theta_1 \quad \Delta p_2 = -\theta - \theta_1 \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial p_1}{\partial x} \right|_{x=0,L} = 0, \quad \left. \frac{\partial p_1}{\partial y} \right|_{y=0} = -U_1(x), \quad \left. \frac{\partial p_1}{\partial y} \right|_{y=H} = U_3(x) \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial p_2}{\partial y} \right|_{y=0,H} = 0, \quad \left. \frac{\partial p_2}{\partial x} \right|_{x=0} = -U_2(y), \quad \left. \frac{\partial p_2}{\partial x} \right|_{x=L} = U_4(y)$$

$$\theta_1 = \frac{1}{LH} \int_0^L (U_1(x) + U_3(x)) dx$$

где  $U_i = \mu v_i / k$ . При этом задачи (6, 7) для определения  $p_1(x, y)$  и  $p_2(x, y)$  разделяются, а их решение можно найти в виде разложений:

$$p_1(x, y) = p_0^1(y) + \sum_{n=1}^{\infty} p_n^1(y) \cos(\alpha_n(x + L)) \quad (8)$$

$$p_2(x, y) = p_0^2(x) + \sum_{n=1}^{\infty} p_n^2(x) \cos(\beta_n(y + H))$$

где  $\alpha_n = \pi n / L$ ,  $\beta_n = \pi n / H$ . Представим граничные условия (7) и источники массы в левой части (5) в виде:

$$U_j(x) = U_0^j + \sum_{n=1}^{\infty} U_n^j \cos(\alpha_n(x + L)) \quad j = 1; 3$$

$$U_k(x) = U_0^k + \sum_{n=1}^{\infty} U_n^k \cos(\beta_n(y + H)) \quad k = 2; 4$$

$$\theta(x, y) = \theta_0(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n(x) \cos(\beta_n(y + H))$$

$$\text{где } U_0^j = \frac{1}{L} \int_0^L U_j(x) dx, U_0^k = \frac{1}{H} \int_0^H U_k(y) dy, U_n^j = \frac{2}{L} \int_0^L U_j(x) \cos(\alpha_n x) dx,$$

$$U_n^k = \frac{2}{H} \int_0^H U_k(y) \cos(\beta_n y) dy, \theta_0(x) = \frac{1}{H} \int_0^H \theta(x, y) dy, \theta_n(x) = \frac{2}{H} \int_0^H \theta(x, y) \cos(\beta_n y) dy.$$

Тогда для определения коэффициентов  $p_i^{1,2}$  из (6)–(8) получим обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка, решение которых имеет вид:

$$p_0^1 = \frac{U_0^1 + U_0^3}{2H} y^2 - U_0^1 y$$

$$p_0^2 = - \int \int \theta_0(x) dx dy - \frac{U_0^1 + U_0^3}{2H} x^2 - U_0^2 x$$

$$p_n^1 = \left( sh^{-1}(\bar{\alpha}_n) (U_n^3 + U_n^1 ch(\bar{\alpha}_n)) ch(\alpha_n y) - U_n^1 sh(\alpha_n y) \right) \bar{\alpha}_n^{-1}$$

$$p_n^2 = \left( B_n sh(\beta_n x) - U_n^2 ch(\beta_n x) - \int_0^x \theta_n(\xi) sh(\beta_n(x - \xi)) d\xi \right) \beta_n^{-1}$$

$$B_n = sh^{-1}(\bar{\beta}_n) \left( U_n^4 + U_n^2 ch(\bar{\beta}_n) - \int_0^L \theta_n(\xi) sh(\beta_n(L - \xi)) d\xi \right)$$

где  $\bar{\alpha}_n = \pi n H / L$ ,  $\bar{\beta}_n = \pi n L / H$ .

Задавая конкретный вид источников  $\theta(x, y)$  и скоростей притока  $v_{1-4}$  на границах ячейки, по полученным формулам найдем распределение давлений  $p(x, y)$ , а из уравнения (2) – распределение скоростей  $(V_x, V_y)$  в среде.

Детальный анализ геометрии транспортной системы листа показал [1–3], что ее параметры соответствуют модели оптимального трубопровода, доставка жидкости в котором производится с минимальными затратами энергии [4]. Учитывая это, исследуем устройство оптимальной ячейки, в ко-

торой затраты энергии на доставку жидкости с объемной скоростью  $Q = \int_0^H \int_0^L q(x, y) dx dy$  минималь-

ны. Затраты оценим, вводя диссипативную функцию:  $\Phi = \int_0^H \int_0^L \tau_{ik} V_{ik} dx dy$ , где  $\tau_{ik} = 2\mu V_{ik}$ ,

$V_{ik} = (\partial v_x / \partial y + \partial v_y / \partial x) / 2$  – тензор скоростей деформаций. При этом величина  $Z = \Phi / Q^2$  имеет смысл гидравлического сопротивления ячейки.

В соответствии с характером распределения мельчайших проводящих элементов в листе [1,2] будем считать, что пористость стенок на границе ячейки может быть постоянной, монотонно убывающей или периодической функцией соответствующей координаты: Мощность стоков зависит от числа слоев клеток-потребителей. Поскольку у листьев толщина пластинки и число клеточных слоев либо постоянны, либо убывают по направлению к краю листа, исследуем подробнее аппроксимации  $\theta(\xi, \zeta) = f_1(\xi) f_2(\zeta)$ ,  $U_{1,3}(\xi) = f_{1,3}(\xi)$ ,  $U_{2,4}(\zeta) = f_{2,4}(\zeta)$ , где  $f_i(z)$  принимают значения из набора  $\{1; 1 - z^n; e^{-\lambda z} (1 + \cos(\pi m))\}$ ,  $\xi = x / L$ ,  $\zeta = y / H$ ,  $\lambda < 1$ ,  $m \in Z$ ,  $n \in N$ . Целью исследования является сопоставление решений, соответствующих условиям оттока и поглощения жидкости, которые имеют место в реальной микроциркуляторной ячейке листа. Ячейки с разными значениями  $\theta(\xi, \zeta)$  и  $U_i$  сравнивались между собой по величине  $Z$ . Для определенности выделены несколько базовых типов ячеек:

I.  $U_1 \neq 0, U_{2,3,4} = 0$  (ячейка, соответствующая половине листовой пластинки, ограниченной центральным проводящим элементом);

II.  $U_{1,2} \neq 0, U_{3,4} = 0$  (соответствует ячейке, расположенной вблизи апекса или основания листовой пластинки);

III.  $U_{1,3} \neq 0, U_{2,4} = 0$  (соответствует ячейке, ограниченной крупными параллельными проводящими элементами у края или апекса листа однодольных);

IV.  $U_{1,2,3,4} \neq 0$  (соответствует внутренней ячейке листьев однодольных и двудольных растений).

Результаты анализа показывают, что для каждого набора  $\{\theta(\xi, \zeta), U_i\}$  существуют разные параметры  $\{L, H\}$ , соответствующие ячейке с наименьшим сопротивлением. В случае однородного распределения источников ( $\theta = const$ ) существует аналитическое решение (3)–(6), (8), для которого

$$Z = \frac{2\eta(H^2(U_2 + U_4)^2 + L^2(U_1 + U_3)^2)}{LH(L(U_1 + U_3) + H(U_2 + U_4))^2}$$

При этом ячейки I и III типов имеют одинаковые сопротивления  $Z_I = Z_{III}$ , а  $Z_{II} < Z_I$ . Для ячейки IV типа  $Z_{II} < Z_{IV}$  для всех распределений  $U_i$ , кроме случая  $U_1 > U_2$  при  $U_2 = U_4$  и  $L = H$ .

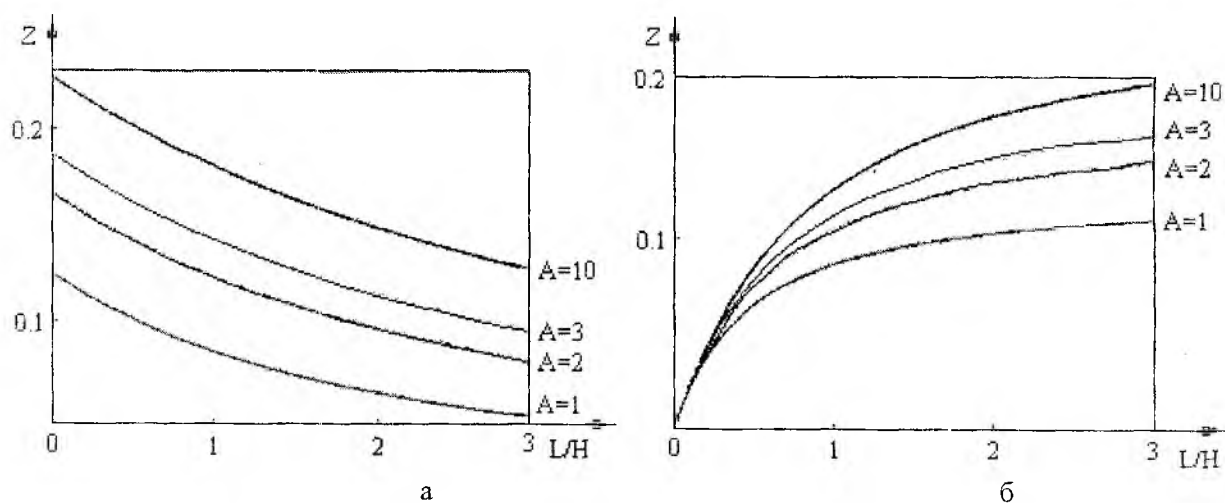


Рис.2.

Результаты расчетов сопротивления  $Z$ -ячейки при  $U_i = const, U_2 / U_4 = 1, U_1 / U_3 = A$ ; а -  $\theta = 1 - x/L$ , б -  $\theta = 1 - y/H$ .

Результаты расчетов приведены на рис.2 а, б. Поле скоростей  $V$  для двух разных случаев, соответствующих квадратной и прямоугольной оптимальным ячейкам, приведено на рис.3. При заданных зависимостях  $U_{1,3}(x), U_{2,4}(y)$  сопротивление ячейки монотонно убывает с ростом отношения сторон  $L/H$  при увеличении  $U_{1,3}$  (рис. 2, а). Аналогичная зависимость для  $Z$  наблюдается с ростом  $H/L$  при увеличении  $U_{2,4}$ , что соответствует вытягиванию ячейки вдоль сторон с максимальным притоком жидкости.

Если скорости притока заданы в виде  $f(z) = 1 - z^n$ , то с ростом показателя  $n$  значения  $Z$  монотонно убывают, но при этом поле скоростей неоднородно по ячейке и в области вблизи  $x \sim L, y \sim H$  поступает значительно меньше жидкости, чем в области  $x, y \sim 0$ .

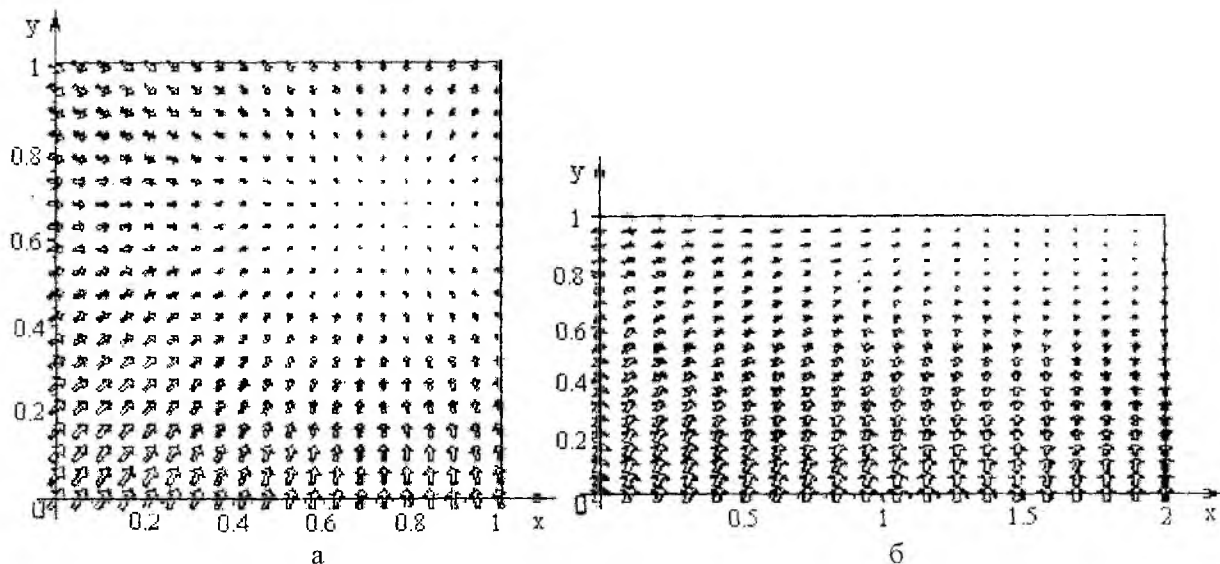


Рис.3.

Распределение скоростей в прямоугольной микроциркуляторной ячейке.

а –  $L/H = 1$ ,  $V_1 = V_2$ ,  $V_3 = V_4$ ,  $V_1/V_3 = 2$ ,  $\theta = const$ ;

б –  $L/H = 2$ ,  $V_1/V_2 = 2$ ,  $V_3 = V_4 = 0$ ,  $\theta = (1 - x/L)(1 - y/H)$ .

Общие результаты численного исследования можно сформулировать в виде следующих утверждений:

1). При постоянной скорости притока на границах гидравлическое сопротивление ячейки снижается, если она вытянута вдоль той границы, на которой скорость притока жидкости наибольшая (рис. 2, а). Ячейки такого вида характерны для листьев однодольных (рис.1, б). При равных скоростях притока достигается равномерное распределение поступающей жидкости в случае квадратной ячейки.

2). Если скорости притока линейно убывают вдоль границы, то гидравлическое сопротивление ячейки снижается, если мощность распределенных источников массы по абсолютной величине также уменьшается вдоль соответствующей координаты. Это можно интерпретировать как уменьшение толщины листа по направлению к краю листовой пластинки, что соответствует уменьшению числа распределенных потребителей (клеток).

3). Последовательное снижение сопротивления достигается монотонным уменьшением скоростей притока по каждой координате, однако при этом поступающая жидкость распределяется неравномерно между клетками-потребителями. Если мощности источников также монотонно уменьшаются по соответствующей координате, то сопротивления ячейки снижаются при сохранении равномерного распределения жидкости.

В основе механизма формирования в листьях растений микроциркуляторных ячеек, параметры которых близки к оптимальным, может лежать система обратных связей, основанных на скорости поступления жидкости в отдельные точки листа. Если в ходе роста листа и проводящей системы флуктуации роста приведут, например, к увеличению длины или диаметра одного из проводящих элементов квадратной ячейки (рис. 3, а), то приток жидкости через его поверхность возрастет, что приведет к увеличению скорости поступления вместе с жидкостью минеральных и регуляторных компонент и, в конечном счете, к увеличению скорости роста ткани в окрестности проводящего элемента и к постепенному вытягиванию ячейки вдоль проводящего элемента с повышенной пропускной способностью (рис.3, б).

Задача допускает обобщение на случай ячеек произвольной формы. При этом сформулированные качественные выводы останутся справедливыми, а соответствующие количественные оценки могут быть проведены на основе предложенной модели с привлечением детальных данных о структуре листьев разных типов.

**Список литературы:** 1. Кизилова Н.Н. Транспортная система и рост листа // Современные проблемы биомеханики. Вып.10. Механика роста и морфогенеза. М.: Изд-во МГУ, 2000. С.379–405. 2. Bejan A., Errera M.R. Deter-

ministic tree networks for fluid flow: geometry for minimal flow resistance between a volume and one point //Fractals. 1997. V.5, № 4. P.685–695. 3. *Кизилова Н.Н., Попова Н.А.* Исследование транспортных систем листьев растений //Проблемы бионики. 1999, N51. С.71–79. 4. *Розен Р.* Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир, 1969. 215 с. 5. *Регирер С.А., Шадрин Н.Х.* Течение крови в капиллярной ячейке мышцы: двумерные эффекты //Изв.АН СССР. Сер.МЖТ. 1989, № 5. С.94–100. 6. *Калион В.А., Шмаков Ю.И., Тютюнов В.А., Тютюнова О.Н.* Особенности течения крови в микроциркуляторной ячейке //Инж.-физ.журн. 1996. Т.69, №3. С. 419–423. 7. *Kizilova N.N.* Transport of fluids in plant leaves: movement through the porous media with distributed sources // Int.Conf.«Physics of liquid matter: modern problems». Kiev. 2001. p.182.

*Поступила в редколлегию 22.08.2002.*

## АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Аврунин Олег Григорьевич** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Харьковского национального университета радиозлектроники (ХНУРЭ)
- Бурцев Валерий Николаевич** – аспирант ХНУРЭ, гл. инженер ЧПФ "Цветодинамика"
- Бурцев Вл Николаевич** – научный консультант ЧПФ "Цветодинамика"
- Буслик Николай Николаевич** – д-р. техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Васильев Николай Дмитриевич** – науч. сотр. Харьковского национального университета им. Каразина (ХНУ)
- Гордиенко Лина Алексеевна** – аспирант ХАИ
- Григоров Михаил Антонович** – начальник службы автомобильных дорог в Одесской области
- Григорьева Наталья Николаевна** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр ХНУ
- Давидич Юрий Александрович** – канд. техн. наук, доцент Харьковского автомобильного университета
- Доля Виктор Константинович** – доктор техн. наук, профессор Харьковского автомобильного университета
- Дюбко Геннадий Федорович** – канд. техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Евланов Максим Викторович** – канд. техн. наук, ст. преподаватель ХНУРЭ
- Ерохин Андрей Леонидович** – канд. техн. наук, доцент, Харьковский университет внутренних дел
- Зима Иван Иванович** – доктор техн. наук, профессор, ст. науч. сотр. Харьковского военного университета
- Кизилова Наталья Николаевна** – канд. физ.-мат. наук, Харьковский национальный университет
- Колесникова Татьяна Анатольевна** – аспирант ХНУРЭ
- Краснопоясовский Анатолий Степанович** – канд. техн. наук, доцент Сумского государственного университета (СГУ)
- Кулибаба Владимир Владимирович** – аспирант ХНУРЭ
- Кучеренко Евгений Иванович** – канд. техн. наук, доцент ХНУРЭ
- Лапта Сергей Иванович** – канд. физ.-мат. наук, доцент ХНУРЭ
- Лисовик Ульяна Игоревна** – стажер-исследователь ХНУРЭ
- Нечаев Андрей Викторович** – научный сотрудник Института проблем машиностроения АМН Украины
- Полонский Александр Дмитриевич** – канд. техн. наук, доцент СГУ
- Работягов Андрей Валентинович** – м.н.с. Харьковского института изучения проблем преступности Академии правовых наук Украины
- Рожицкий Николай Николаевич** – д-р физ.-мат. наук, ХНУРЭ
- Сеидов Валерий Юрьевич** – директор Института психологии
- Снежко Дмитрий Викторович** – студент ХНУРЭ
- Столкинер Марина Георгиевна** – студентка Харьковского национального университета
- Сулима Татьяна Николаевна** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Института охраны детей и подростков
- Тимофеев Владимир Александрович** – ст. науч. сотр. ХНУРЭ
- Ульянина Светлана Владимировна** – аспирант ХНУРЭ
- Устинова Александра Николаевна** – аспирант ХАИ
- Фуфаев Александр Владимирович** – студент ХАИ
- Харченко Сергей Леонидович** – ассистент ХНУРЭ
- Хрусталева Кирилл Львович** – аспирант ХНУРЭ
- Черепанова Юлия Юрьевна** – аспирант ХНУРЭ
- Шостак Игорь Владимирович** – канд. техн. наук, доцент ХАИ

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Буслик Н.Н., Тимофеев С.П.</i> Диалоговые двухуровневые формальные грамматики и их использование при создании лексических баз данных .....	3
<i>Работягов А.В.</i> К вопросу об идентификации человека по параметрам речи на ограниченном объеме речевого материала .....	7
<i>Дюбка Г.Ф., Харченко С.Л.</i> Интеллектуализация технологии создания программных и аппаратных систем .....	13
<i>Краснопоясовський А.С.</i> Інформаційний синтез прогнозуючої системи підтримки прийняття рішень, що навчається .....	17
<i>Кучеренко Е.И.</i> К проблеме анализа полноты и непротиворечивости в задачах обработки нечетких знаний .....	22
<i>Кулибаба В.В.</i> Обоснование использования методологии OMSAD при проектировании CASE-средств моделирования информационных систем .....	27
<i>Черепанова Ю.Ю.</i> Тестування теоретичних знань за допомогою тезауруса семантичних полів .....	32
<i>Евланов М.В., Скляр А.А., Штангей С.В.</i> Топологическая модель лекционного материала и методов контроля знаний, приобретенных в ходе дистанционного образования .....	37
<i>Аврунин О.Г.</i> Методика стереотаксических расчетов при интраоперационном проведении компьютерной томографии .....	42
<i>Григорьева Н.Н., Зима И. И., Васильев Н. Д., Сеидов В. Ю., Нечаев А.В.</i> Комплексная методика отбора абитуриентов для подготовки биоэнерготерапевтов .....	46
<i>Шостак И.В., Устинова А.Н., Ульянина С.В., Фуфаев А.В.</i> Динамическая экспертная система как интеллектуальная составляющая ГИС-технологии управления крупномасштабными объектами .....	49
<i>Гордиенко Л.А.</i> Интеллектуальная подсистема поддержки принятия технологических решений при проектировании оснастки в заготовительно-штамповочном производстве .....	55
<i>Сулима Т.Н., Лесовик У.И.</i> Использование метода нейронных сетей для прогнозирования состояния здоровья подростков по результатам медико-генетического обследования .....	61
<i>Хрусталева К.Л., Снежко Д.В., Рожницкий Н.Н.</i> Проблема электрохемилюминесцентного измерения компонентов биомедицинского значения .....	67
<i>Лапта С.И.</i> Нахождение функции абсорбции глюкозы в кишечном тракте пациента на основе математической модели динамики гликемии .....	74
<i>Колесникова Т.А.</i> Обобщенная модель сердечно-сосудистой системы .....	81
<i>Полонский А.Д.</i> Инвариантная алгебра ранговых предикатов для синтеза нейроподобных систем в условиях неопределенности .....	84
<i>Бурцев Вал. Н., Бурцев Вл.Н., Ерохин А.Л.</i> Обеспечение устойчивости системы психофизиологического состояния ЛПР в системах поддержки принятия решений .....	91
<i>Давидич Ю.А.</i> Направления повышения безопасности движения с учетом функционального состояния водителя .....	96
<i>Доля В.К., Григоров М.А.</i> К вопросу моделирования движения автомобилей и выбора водителем пути следования .....	
<i>Кизилова Н.Н., Столкнер М.Г.</i> Исследование транспорта жидкости и структуры оптимальной микроциркуляторной ячейки .....	103

## CONTENTS

<i>Buslik N.N., Timofeyev S.P.</i> Dialog Double-Level Formal Grammars and Their Application in Lexical Data Bases Creation .....	3
<i>Rabotvagov A.V.</i> About the question of identification of a person on speech parameters using small amounts of voice material .....	7
<i>Duybko G.F., Kharchenko S.L.</i> The intellectualization of technology of software and hardware systems creation .....	13
<i>Krasnopoyasovsky A.S.</i> Information synthesis of predicting training system of support of acceptance of decisions .....	17
<i>Kucherenko Ye.I.</i> To a problem of completeness and consistency analysis in tasks of fuzzy knowledge process .....	22
<i>Kulibaba V.V.</i> Ground use methodology OMSAD for development CASE-software modeling information systems .....	27
<i>Cherepanova Y.Y.</i> On testing of theoretical knowledge by means of the thesaurus of semantic fields .....	32
<i>Evlanov M.V., Sklyarov A.Ya., Shtangei S.V.</i> Topological model of a lecture material and monitoring methods of knowledges, which bought in a during of remote formation .....	37
<i>Avrunin O.G.</i> A technique of stereotaxical computation with an intra-operative computed tomography .....	42
<i>Grigorieva N.N., Zima I.I., Vasiliev N.D., Seidov V.Y., Nechaev A.V.</i> Complex technique of a selection of the entrants for training bioenergytherapeutist .....	46
<i>Shostak I.V., Ustinova A.N., Utyanina S.V., Phyphaev A.V.</i> The dynamic expert system as an intelligent component of the geoinformation technology of control the large-scaling objects .....	49
<i>Gordienko L.</i> Intelligent technologic decisions-making system for stamp design in metal-stamping industry .....	55
<i>Sulima T.N., Lesovik U.I.</i> Using neural networks method for prediction of adolescents state of health from results of medicogenetic checkup .....	61
<i>Khrustalev K.L., Snezhko D.V., Rozhitskii N.N.</i> Problem of electrochemiluminescent definition of components of biomedical importance .....	67
<i>Lapta S.I.</i> The findings of the glucose absorption function in the patient's intestinal tract on the basis of the mathematical model of glycemetic dynamics .....	74
<i>Kolesnikova T.A.</i> The existen cardiovascular model .....	81
<i>Polonsky A.D.</i> The application of invariable algebra of rank predicates for the synthesis of neuron-like systems under conditions of indefiniteness .....	84
<i>Burtsev Val., Burtsev Vl., Yerokhin A.</i> Assurance of steadiness of decision-makers psychophysiological status in the decision making systems .....	91
<i>Davidich Y.</i> The direction of traffic safety increase with regard to the functional driver's condition .....	96
<i>Dolya V., Grigorov M.</i> The automobile moving simulation issue and a driver's choice of the route .....	99
<i>Kizilova N.N., Stolkiner M.G.</i> Investigation of fluid transport and structure of the optimal microcirculatory cell .....	103

## РЕФЕРАТЫ

## РЕФЕРАТИ

## ABSTRACTS

УДК 519.7

**Диалоговые двухуровневые формальные грамматики и их использование при создании лексических баз данных / Н.Н. Буслик, С.П. Тимофеев // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 3-6.**

Предложен аппарат диалоговых двухуровневых формальных грамматик (Д-грамматик), как средство описания структуры не вполне формализованных текстов, в частности, традиционных словарей. Приведен упрощенный пример описания структуры словарной статьи словаря Борковского. Обсуждается применение Д-грамматик для автоматизированного создания лексических БД на основе текстов традиционных словарей.

Библиогр.: 6 назв.

УДК 519.7

**Діалогові дворівневі формальні граматики та їх застосування при створенні лексичних баз даних / М.М.Буслик, С.П. Тимофеев // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 3-6.**

Запропоновано апарат діалогових дворівневих формальних граматик (Д-грамматик), які є засобом опису структури не цілком формалізованих текстів, зокрема, традиційних словників. Надано спрощений приклад опису структури словникової статті словника Борковського. Обговорюється застосування Д-грамматик для автоматизованого створення лексичних БД на основі текстів традиційних словників.

Бібліогр.: 6 назв.

UDC 519.7

**Dialog Double-Level Formal Grammars and Their Application in Lexical Data Bases Creation**

/ N.N. Buslik, S.P. Timofeyev // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 3-6.

An apparatus of dialog double-level formal grammars (D-grammars) is introduced as a facility for incompletely formalized texts description, in particular of traditional dictionaries. A simplified example of Borkovsky dictionary entry structure description is given. The D-grammars application for automated creation of lexical DB based on traditional dictionaries text is discussed.

Ref.: 6 items.

УДК 519.711.3 + 004.023 + 004.934

**К вопросу об идентификации человека по параметрам речи на ограниченном объеме речевого материала / А. В. Работягов // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 7-12.**

Статья посвящена проблеме поиска эффективных классификационных признаков и правил их применения для решения задачи идентификации человека по параметрам речи на ограниченном по объему, зашумленном и искаженном речевом материале. Актуальность исследования обусловлена противоречием, которое особенно обозначилось на протяжении последних лет настоятельными потребностями, прежде всего, криминально-процессуального познания (связанных, в частности, с расследованием террористических актов, инсинуаций с использованием технологий фальсификации речи, направленных на дискредитацию общественных и государственных деятелей и др.) и имеющимися возможностями удовлетворить их не только применением уже существующих методов и способов такого познания, но и имеющимся научно-теоретическим потенциалом языковедческих наук, изучающих специфические особенности речевых сигналов, сложные речевые процессы и явления. Существующие методы позволяют решать такие задачи на значительно больших объемах речевого материала. Поэтому чрезвычайно важной является разработка методов, использующих в своей концепции принципиально новые теоретические идеи, прежде всего, языковедческого характера. Главное внимание автор уделяет детальному рассмотрению объекта исследования – элементарных сегментов гласных звуков речи и системы структурных "геометрических" признаков, лежащих в основе построения математической модели компьютерной системы метода.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 14 назв.

УДК 519.711.3 + 004.023 + 004.934

**До питання про ідентифікацію людини за параметрами мови на обмеженому обсязі мовного матеріалу / А. В. Работягов // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 7-12.**

Стаття присвячена проблемі пошуку ефективних класифікаційних ознак та правил їх застосування для вирішення задачі ідентифікації людини за параметрами мови на обмеженому за обсягом, зашумленому та спотвореному мовному матеріалі. Актуальність досліджень зумовлена протиріччям, що відчутно визначилось особливо впродовж останніх років між нагальними потребами кримінально-процесуального пізнання (пов'язаними, зокрема, з розслідуванням терористичних актів, інсинуацій з використанням технологій фальсифікації мови, зкерованих на дискредитацію суспільних і державних діячів т.і.) та наявними можливостями задовольнити їх не тільки застосуванням вже існуючих методів та засобів такого пізнання, але й наявного

наявного науково-теоретичного набутку мовознавчих наук, що вивчають специфічні властивості мовних сигналів, складні мовні процеси та явища. Існуючі методи уможливають рішення таких задач лише на значно більших обсягах мовного матеріалу. Тому надзвичайно важливим є розробка методів, що використовують у своїй концепції принципово нові теоретичні ідеї, перш за все, загальномовного характеру. Головну увагу автор приділяє докладному розгляду об'єкта дослідження – елементарних сегментів голосних звуків мови та системи структурних "геометричних" ознак, що утворюють основу математичної моделі комп'ютерної системи метода.

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр.: 14 назв.

UDC 519.711.3 + 004.023 + 004.934

**About the Question of Identification of a Person on Speech Parameters Using Small Amounts of Voice Material** / A. V. Rabotyagov // *Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag.* 2002. № 57. P. 7-12.

The article deals with the problem of searching for effective characteristic features for classification and their application rules for the solution of the problem of identification of a person according to the parameters of speech when the initial voice material is limited in number, noisy and distorted. The urgency of the research arises from the contradiction that has especially come into view recently, between the urgent needs first of all of criminal proceedings investigation (connected in particular with the inquiries of acts of terrorism, insinuations in an attempt to discredit some public and state men using the methods of falsification of speech, etc.) and available capacities to meet them not only with the help of already existing methods and ways of such investigations but also with the use of scientific and theoretical potential of linguistics which studies specific features of voice processes and phenomena. Existing methods give us a possibility to solve such problems using much larger volumes of voice material. That is why it is extremely necessary to elaborate the methods which will use radically new ideas, first of all in linguistics. The main attention in the article is given to the detailed analysis of the elemental segments of vowels and to the system of structural "geometrical" parameters which form the foundation of the computer mathematical model of the method.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 14 items.

---

УДК 002+02/.002.5;002:681.3

**Интеллектуализация технологии создания программных и аппаратных систем** / Г.Ф. Дюбко, С.Л. Харченко // *Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* 2002. Вып. 57. С.13-16.

Проводится анализ существующих технологий проектирования программных и аппаратных систем, определяются возможности развития объектно-ориентированного подхода при использовании компонентной технологии, где компоненты обрабатываются интеллектуальными агентами. Основное внимание уделяется проблемам анализа и автоматизации начальных этапов создания систем.

УДК 002+02/.002.5;002:681.3

**Интеллектуалізація технології створення програмних та апаратних систем** / Г.Ф. Дюбко, С.Л. Марченко // *Проблеми біоники: Всеукр. між від. наук.-техн. зб.* Вип. 57. С. 13-16.

Проводиться аналіз існуючих технологій проектування програмних і апаратних систем, визначаються можливості розвитку об'єктно-орієтованого підходу при впровадженні компонентної технології, де компоненти обробляються інтелектуальними агентами. Головна увага приділяється проблемі аналізу та автоматизації початкових етапів створення систем.

UDK 002+02/.002.5;002:681.3

**The intellectualization of technology of software and hardware systems creation** / G.F. Duybko, S.L. Kharchenko // *Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag.* 2002. № 57. P. 13-16

The analysis of existing technologies of software and hardware systems design is performed, the possibilities of development of object-oriented approach during usage of component technology is defined, where components are processed by intellectual agents. General attention is taken to problems of analysis and automation of initial stages of systems creation.

---

УДК 681.518:004.93'1

**Информационный синтез прогнозирующей обучающейся системы поддержки принятия решений** / А.С. Краснополюсовский // *Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* 2002. Вып. 57. С. 17-21.

Рассматривается подход к построению обучающихся систем эвристического прогнозирования в рамках экстремально-информационного метода функционально-статистических испытаний (МФСИ), который основывается на прямой оценке информационной способности системы.

Ил.1. Библиогр.:4 назв.

УДК 681.518:004.93'1

**Інформаційний синтез прогнозуючої системи підтримки прийняття рішень, що навчається**

/А.С.Краснопоясовський // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 17-21.

Розглядається підхід до побудови систем евристичного прогнозування, що навчаються, у рамках екстремально-статистичного методу функціонально-статистичних випробувань, який ґрунтується на прямій оцінці інформаційної здатності системи.

Л.1. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 681.518:004.93'1

**Information synthesis of predicting training system of support of acceptance of decisions**

/ A.S. Krasnopoyasovsky // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 17-21.

The approach to construction of training systems of heuristic forecasting is considered(examined) within the framework of an extreme-information method of functional - statistical tests which is based on a direct estimation of information ability of system.

1 fig. Ref.:4.

УДК 519.71

**К проблеме анализа полноты и непротиворечивости в задачах обработки нечетких знаний**

/ Е.И. Кучеренко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 22-26.

Предложен подход к формализации и анализу полноты и непротиворечивости исходных данных и знаний на основе пространства состояний нечеткой сетевой модели в интеллектуальных системах.

Библиогр.:5 назв.

УДК 519.71

**До проблеми аналізу повноти та несуперечності в задачах обробки нечітких знань**

/ Є.І. Кучеренко // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 22-26.

Запропоновано підхід до формалізації та аналізу повноти і несуперечності вихідних даних і знань на основі простору стану нечіткої мережної моделі в інтелектуальних системах.

Бібліогр.: 5 назв.

UDC 519.71

**To a problem of completeness and consistency analysis in tasks of fuzzy knowledge process**

/Ye.I. Kucherenko // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 22-26.

The approach to formalization and analysis of completeness and consistency of the initial data and knowledges the basis of state space of fuzzy network model for intellectual systems is offered.

Ref.: 5 items.

УДК 519.68; 519.7

**Обоснование использования методологии OMSAD при проектировании CASE-средств моделирования информационных систем / В.В. Кулибаба // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 27-31.**

Сложность программных разрабатываемых систем указывает на необходимость разработки новых методов анализа, моделирования и проектирования. Анализ предметной области вместе с анализом существующих методов разработки программных систем, моделей разработки CASE-средств автоматизирующих процесс проектирования, указывают на недостаточное развитие средств анализа и проектирования как объектно-ориентированных технологий, так и системных методов проектирования, отсутствие инструментария который смог реально автоматизировать аналитическую деятельность.

Библиогр.: 46 назв.

УДК 519.68; 519.7

**Обґрунтування застосування методології OMSAD при проектуванні CASE-засобів моделювання інформаційних систем / В.В. Кулибаба // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 27-31.**

Складність програмних систем, які розробляються, вказує на необхідність розробки нових методів аналізу, моделювання та проектування. Аналіз предметної області разом з аналізом існуючих методів розробки програмних систем, моделей розробки, CASE-засобів автоматизуючих процес проектування, вказує на недостатнє розвинення засобів аналізу і проектування як у об'єктно-орієнтованій технології, так і у системних методах проектування, відсутність інструментарію який реально би автоматизував аналітичну діяльність.

Бібліогр.: 46 назв.

UDC 519.68; 519.7

**Ground use methodology OMSAD for development CASE-software modeling information systems**

/ V.V. Kulibaba // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 27-31.

Compound software systems very hard development, but this problem decides elaborate new method of analyses, modeling and development software system. Analyze data domain with analyze well-known method development software system, development model, CASE-system, show a several defect in evolution facility analyses and developments in OOT and system method, poor development CASE-software who make help automation analyze on data domain.

Ref.: 46 items.

---

УДК 681.3:519.76

**Тестирование теоретических знаний с помощью тезауруса семантических полей / Ю.Ю. Черепанова**  
// Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 32-36.

Рассматривается проблема тестирования теоретических знаний в автоматизированных системах контроля знаний. Предложены методы тестирования теоретических знаний на основе использования тезауруса семантических полей для построения концептуальных моделей текста ответа на естественном языке.

Библиогр.: Табл. 1., 12 назв.

УДК 681.3:519.76

**Тестування теоретичних знань за допомогою тезауруса семантичних полів / Ю.Ю. Черепанова**  
// Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 32-36.

Розглянуто проблему тестування теоретичних знань в автоматизованих системах контролю. Запропоновано методи тестування теоретичних знань на основі використання тезауруса семантичних полів для побудови концептуальних моделей тексту відповіді на природній мові.

Бібліогр.: Табл. 1., 12 назви.

UDC 681.3:519.76

**On testing of theoretical knowledge by means of the thesaurus of semantic fields / Y.Y. Cherepanova**  
// Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 32-36.

The problem testing of theoretical knowledge by automated testing systems is considered. Methods of construction of semantic models of natural language answer by means of the thesaurus of semantic fields are proposed.

Ref.: 1 Tab., 12 items.

---

УДК 658.012.011.56

**Топологическая модель лекционного материала и методов контроля знаний, приобретенных в ходе дистанционного образования / М.В. Евланов, А.Я. Складов, С.В. Штангей //**

Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 37-41.

В данной статье рассмотрены проблемы, связанные с автоматизацией контроля знаний, получаемых человеком в ходе дистанционного обучения. Материалы, предлагаемые обучаемому для самостоятельного освоения в ходе дистанционного обучения, рассмотрены в виде некоторой фигуры, определенной на евклидовом информационно-смысловом пространстве комплексом исходных понятий. Предложены математические модели фрагмента лекции, лекционного курса, а также математические модели основных типов вопросов, используемых для контроля знаний обучаемого.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 658.012.011.56

**Топологічна модель лекційного матеріалу і методів контролю знань, що набуті в ході дистанційної освіти / М.В. Євланов, О.Я. Складов, С.В. Штангей //**

Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 37-41.

В даній статті розглянуті проблеми, що пов'язані з автоматизацією контролю знань, набутих людиною в ході дистанційної освіти. Матеріали, які пропонуються навчаемому для самостійного освоєння в ході дистанційної освіти, розглянуті у вигляді фігури, що визначена на евклидовому інформаційно-змістовному просторі комплексом вихідних понять. Запропоновані математичні моделі фрагмента лекції, лекційного курсу, а також математичні моделі основних типів питань, що використовуються для контролю знань навчаемого.

Іл. 1. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 658.012.011.56

**Topological model of a lecture material and monitoring methods of knowledges, which bought in a during of remote formation** / M.V. Evlanov, A.Ya. Sklyarov, S.V. Shtangei // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 37-41.

In this article the problems connected to monitoring automation of knowledges, received by the person in a during of remote tutoring, are considered. The materials, which offered for independent assimilation by student in a during of remote tutoring, described as some figure determined on Euclidean informational-semantic space by a complex of initial concepts. The mathematical models of a lecture fragment, lecture rate, and also mathematical models of main types of questions used for student knowledges monitoring are offered.

1 fig. Ref.: 4 items.

---

УДК 615.47

**Методика проведения стереотаксических расчетов при интраоперационном проведении компьютерной томографии** / О.Г. Аврунин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 42-45.

В работе рассматривается методика проведения стереотаксических расчетов при интраоперационном использовании рентгеновского компьютерного томографа. Приведен анализ возможностей стереотаксического наведения хирургического инструмента при использовании интраоперационной компьютерной томографии.

Ил.3. Библиогр.: 6 назв.

УДК 615.47

**Методика стереотаксичних розрахунків при інтраопераційному проведенні комп'ютерної томографії** / О.Г. Аврунін // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 42-45.

У роботі розглянута методика проведення стереотаксичних розрахунків при інтраопераційному використанні рентгенівського комп'ютерного томографа. Приведено аналіз можливостей стереотаксичного наведення хірургічного інструмента при використанні інтраопераційної комп'ютерної томографії.

Ил.3. Библиогр.: 6 назв.

UDC 615.47

**A technique of stereotaxical computation with an intra-operative computed tomography.** / O.G. Avrunin // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 42-45.

A method of stereotaxical computation with an intra-operative CT is described. Capabilities of recent stereotaxical guide with intra-operative CT are adduced and analysis.

Fig. 3. Refs: 6 items.

---

УДК 577

**Комплексная методика отбора абитуриентов для подготовки биоэнерготерапевтов**

/ Н.Н. Григорьева, И.И. Зима, Н.Д. Васильев, В.Ю. Сеидов, А.В. Нечаев // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 46-48.

Представлены методика и результаты профессионального отбора абитуриентов методами внутриклеточного микроэлектрофореза и роторной спектроскопии.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 577

**Комплексна методика відбору абітурієнтів для підготовки біоенерготерапевтів** / Н.М. Григор'єва, І.І. Зима, М.Д. Васильєв, В.Ю. Сеїдов, А.В. Нечаєв // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 46-48.

Подано методика та результати професійного відбирання абітурієнтів методами внутрішньоклітинного електрофорезу та роторної спектроскопії.

Бібліогр. 2 назви.

UDC 577

**Complex technique of a selection of the entrants for training bioenergytherapist** / N.N. Grigorieva, I.I. Zima, N.D. Vasiliev, V. Y. Seidov, A.V. Nechaev // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 46-48.

Are submitted the technique and results of researches of professional selection by methods intracellular microelectrophoresis and magnetic rotory spectrum analysis.

Ref.: 2 items.

УДК 004.78

**Динамическая экспертная система как интеллектуальная составляющая ГИС-технологии управления крупномасштабными объектами / И.В.Шостак, А.Н.Устинова, С.В.Ульянина, А.В.Фуфаев // Проблемы бионики: Всеукр. Межвед. Науч.-техн. Сб. 2002. Вып. 57. С. 49-54.**

В статье описывается технология управления крупномасштабными объектами, основанная на концепции интеллектуальной интегрированной системы поддержки принятия решений. ИИСППР содержит в себе динамическую экспертную систему (ДЭС) и систему мониторинга, основанную на геоинформационной технологии, обеспечивающую актуализацию данных. Приведен алгоритм двухэтапной обработки информации в ИИСППР. Рассмотрена задача выбора оборудования для механообработки с использованием технологии palm.

Рис.1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 004.78

**Динамічна експертна система, як інтелектуальна складова ГІС-технології управління великомасштабними об'єктами / І.В.Шостак, О.М.Устинова, С.В.Ульяніна, О.В.Фуфаєв // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 49-54.**

Описана технологія управління великомасштабними об'єктами, яка заснована на концепції інтелектуальної інтегрованої системи підтримки прийняття рішень. ІСППР містить у собі динамічну експертну систему (ДЕС) та систему моніторинга, що заснована на геоінформаційній технології, яка забезпечує актуалізацію даних. Наведено алгоритм двоетапної обробки інформації в ІСППР. Розглянуто задачу вибору обладнання для механообробки з використанням технології PALM.

Мал.1. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 004.78

**The dynamic expert system as an intelligent component of the geoinformation technology of control the large-scaling objects / I.V.Shostak, A.N.Ustinova, S.V.Ulyanina, A.V.Phyphaev // Problems of bioniks: All-ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 49-54.**

The control technology by the large-scaling objects on the based the conception of the integrated decision-making system (idms) are described. Idms included the dynamic expert system and the monitoring geoinformatic sub-system. The algorithm of the two-step information procession in the idms is proposed. The problem of choosing equipment for mechanic processing with using technology palm was determined.

Fig.1. Item 5

УДК 004.78

**Интеллектуальная подсистема поддержки принятия технологических решений при проектировании оснастки в заготовительно-штамповочном производстве / Л.А. Гордиенко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 55-60.**

В связи с устойчивой тенденцией к уменьшению серийности производимых деталей, наибольший эффект от применения холодной штамповки может быть получен путем автоматизации технологической подготовки производства, что позволит существенно ускорить процессы проектирования оснастки, подготовки документации, а также снизить влияние субъективного фактора на принятие решений. При проектировании оснастки возникает ряд проблем, не поддающихся алгоритмизации, к которым относятся, например, задачи выбора совмещенности операций и прогнозирования износа оснастки в условиях неопределенности. Решение подобных проблем достигается лишь на основе использования экспертных знаний с помощью систем, способных извлекать, обрабатывать и накапливать знания. В данной работе для этих целей предлагается использовать успешно решающий подобные задачи метод равноуровневых алгоритмических квантов знаний (РАКЗ), базирующийся на квантовом подходе в инженерии знаний.

УДК 004.78

**Інтелектуальна підсистема підтримки прийняття технологічних рішень при проектуванні оснастки в заготівельно-штампувальному виробництві / Л.А. Гордієнко // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 55-60.**

В зв'язку із стійкою тенденцією до зменшення серийності виробництва деталей, найбільший ефект від застосування холодної штамповки може бути отриманий шляхом автоматизації технологічної підготовки виробництва, що дозволить суттєво прискорити процеси проектування оснастки і підготовки документації, а також знизити вплив суб'єктивного фактору на прийняття рішень. При проектуванні оснастки виникає ряд проблем, не піддаючихся алгоритмізації, до яких належать, наприклад, задачі вибору сумісності операцій і прогнозування зносу оснастки в умовах невизначеності. Розв'язання таких проблем досягається лише на основі використання експертних знань за допомогою систем, здатних отримувати, обробляти та накопичувати знання, як це виконує людина-експерт. В цій роботі для вказаних цілей пропонується використовувати вдало рішення такі

задачі метод різнорівневих алгоритмічних квантів знань (РАКЗ), що базується на квантовому підході в інженерії знань.

UDC 004.78

**Intelligent technologic decisions-making system for stamp design in metal-stamping industry**

/ L. Gordienko // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 55-60.

In conditions of the strong tendencies of details serial production decreasing, maximal effect of cold stamping usage can be got by the way of technologic preparation industry automatisation, that provide faster documentation preparation and decrease the influence of subjective factor on decisions-making. In stamp design there is a set of problems that cant be algorithmised, such as, for example, chose completion of operations and prognosis of stamp usage under conditions of not full precise. The decisions of such problems can be reached based on expert knowledge only, by use of systems that are able obtain, process and store knowledge as man-expert do. In this work the different-level algorithmic knowledge quantum method (DLAQ), that successfully decide such problems and based on quantum approach in knowledge engineering, is proposed for such goals.

УДК 004.032.26

**Использование метода нейронных сетей для прогнозирования состояния здоровья подростков по результатам медико-генетического обследования / Т.Н. Сулима, У.И. Лесовик**

// Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 61-66.

Рассматривается использование нейронных сетей для прогнозирования медико-генетических патологий. С помощью пакета NeuroPro V 0.25 проведено обучение двух НС по двум методическим тактикам, сделана сравнительная характеристика основных параметров сетей. В ходе экспериментов с моделями НС, выявлена зависимость прогностической способности сети от соотношения в обучающей выборке представителей двух выходных классов. Приведены структуры НС и результаты экспериментов.

Табл.3.Илл.3.Библиогр.:8 назв.

УДК 004.032.26

**Використання метода нейронних мереж для прогнозування стану здоров'я підлітків по результатам медико-генетичного обстеження / Т.Н. Суліма, У.І. Лісовик // Проблеми біоніки:**

Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 61-66.

Розглядається використання нейронних мереж для прогнозування медико-генетичних патологій. За допомогою пакета NeuroPro V 0.25 здійснено навчання двох НМ по двом методичним тактикам, зроблена порівняльна характеристика основних параметрів мереж. Під час експериментів з моделями НМ, виявлена залежність прогностичної здібності мережі від співвідношення в навчачій вибірці представників двох вихідних класів. Приведені структури НМ і результати експериментів.

Табл.3.Илл.3.Библиогр.:8 назви.

UDC 004.032.26

**Using neural networks method for prediction of adolescents state of health from results of medicogenetic checkup / T.N. Sulima, U.I. Lesovik // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 61-66.**

Using NN for prediction of medicogenetic pathologies is considered. Through NeuroPro V 0.25 package the training of two NN by two methodical tactics has been accomplished. At the time of NN model experiments the dependence of predicting power from correlation of two output classes representatives in training set is discovered. NN structures and experimentation results are showed.

3 tabl. 3 fig. Ref.: 3 items.

УДК 573.6.086.83; 615.47

**Проблема электрохемилюминесцентного измерения компонентов биомедицинского значения**

/ К.Л. Хрусталева, Д.В. Снежко, Н.Н. Рожницкий // Проблемы бионики: Всеукр. Межвед. Науч.-техн. Сб. 2002. Вып. 57. С. 67-73.

Работа посвящена рассмотрению основных положений разработки метода и технологии измерения компонентов медико-биологических сред на основе электрохемилюминесцентного принципа анализа. Проводится обоснование использования метода градуировочного графика для обработки результатов аналитического эксперимента. Рассмотрены особенности использования метода электрохемилюминесцентного анализа для измерения биогенных аминов на примере гистамина, приводятся статистически обработанные экспериментальные данные анализа.

Илл. 4. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

УДК 573.6.086.83; 615.47

**Проблема електрохемілюмінесцентного вимірювання компонентів біомедицинського значення**

/К.Л. Хрустальов, Д.В.Сніжко, М.М. Рожицький // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 67-73.

Робота присвячена розгляду основних положень розробки методу та технології вимірювання компонентів медико-біологічних середовищ на основі електрохемілюмінесцентного принципу аналізу. Проведено обґрунтування використання метода градуїровочного графіка для обробки результатів аналітичного експерименту. Розглянуто особливості використання метода електрохемілюмінесцентного аналізу для вимірювання біогенних амінів на прикладі гістаміну та наводяться статистично оброблені експериментальні дані аналізу.

Табл. 1. Іл. 4. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 573.6.086.83; 615.47

**Problem of electrochemiluminescent definition of components of biomedical importance**

/K.L. Khrustalev, D.V. Snezhko, N.N. Rozhitskii // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 67-73.

The paper is devoted to consideration of the basic rules of method and technology development of biomedical liquids components definition on a basis of electrochemiluminescent analysis principle. The substantiation is carried out of a calibration graph method for experimental data processing. The peculiarities of electrochemiluminescent method analysis utilization for measurement of biogenic's amine histamine are considered and experimental assay data statistical processing is reported.

1 tab. 4 fig. Ref.: 7 items.

УДК 519.95:612.018

**Нахождение функции абсорбции глюкозы в кишечном тракте пациента на основе математической модели динамики гликемии / С.И. Лапта // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002.**

Вып. 57. С. 74-80.

На основе оригинальной математической модели динамики гликемии предложен метод исследования абсорбции глюкозы в кровь в кишечнике. Для этого проводят пероральный и внутривенный тесты толерантности к глюкозе. Сопоставление их данных с помощью модели динамики гликемии позволяет восстановить точный вид функции всасывания глюкозы в кишечном тракте и проводить дифференциальную диагностику различных ее отклонений от нормы.

Ил. 3. Библиогр.: 12 назв.

УДК 519.95:612.018

**Знаходження функції абсорбції глюкози у кишковому тракті пацієнта на основі математичної моделі динаміки глікемії / С.И. Лапта // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 74-80.**

На основі оригінальної математичної моделі динаміки глікемії запропоновано метод дослідження абсорбції глюкози в кров у кишечнику. Для цього треба провести пероральний та внутрішньовенний тести толерантності до глюкози. Порівняння їх даних за допомогою моделі динаміки глікемії дозволяє відновити точний вид функції всмоктування глюкози в кишковому тракті та проводити диференційну діагностику різноманітних її відхилень від норми.

Іл. 3. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 519.95:612.018

**The findings of the glucose absorption function in the patient's intestinal tract on the basis of the mathematical model of glycemic dynamics / S.I. Lapta // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 74-80.**

On the basis of the original mathematical model of glycemic dynamics the method of analysis of glucose absorption into blood in the patient's intestinal tract was proposed. The comparison of the oral and intravenous glucose tolerance tests data with the help of the glycemic dynamics mathematical model allows to restore the strict form of the function of glucose absorption in the intestinal tract and to carry out a differential diagnostics of it's various deviations from norma.

Fig. 3. Ref.: 12 items.

УДК 615.47:616-085

**Обобщенная модель сердечно-сосудистой системы** / Т.А. Колесникова // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 81-83.

В статье приведен анализ существующих моделей сердечно-сосудистой системы. С помощью математического моделирования на основе гидродинамической модели разработана обобщенная модель сердечно-сосудистой системы.

Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

УДК 615.47:616-085

**Узагальнена модель серцево-судинної системи** / Т.А. Колесникова // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 81-83.

В статті проведено аналіз існуючих моделей серцево-судинної системи. За допомогою математичного моделювання на основі гідродинамічної моделі розроблено узагальнену модель серцево-судинної системи.

Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

UDC 615.47:616-085

**The existen cardiovascular model** / Т.А. Kolesnikova // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 81-83.

In this paper conducted the analysis of cardiovascular models. The extension cardiovascular model attacked by mathematics modeling methods on the base hydrodynamics model.

3 fig. 6 items.

УДК 681.5

**Инвариантная алгебра ранговых предикатов для синтеза нейроподобных систем в условиях неопределенности** / А. Д. Полонский // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 84-90.

На множестве функций скалярных произведений построена инвариантная алгебра ранговых предикатов (ИАРП) для математического описания нейроподобных систем (НПС) в условиях неопределенности случайных наблюдений. Для электрического моделирования НПС разработан элементный базис ИАРП – рангер (коммутационный нейрон). В рамках ИАРП предложен метод предикатно-логического синтеза НПС на основе обучения распознавания отношений между наблюдениями.

Ил.6. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.5

**Інваріантна алгебра рангових предикатів для синтеза нейроподібних систем в умовах невизначеності** / О. Д. Полонський // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 84-90.

На множині функцій скалярних добутків побудовано інваріантну алгебру рангових предикатів (ІАРП) для математичного опису нейроподібних систем (НПС) в умовах навизначеності випадкових спостережень. Для електричного моделювання НПС розроблено елементний базис ІАРП – рангер (комутаційний нейрон). В рамках ІАРП запропоновано метод предикатно-логічного синтеза НПС на основі навчання розрізнення відносин між спостереженнями.

Ил.6. Библиогр.: 4 назв.

UDC 681.5

**The application of invariable algebra of rank predicates for the synthesis of neuron-like systems under conditions of indefiniteness** / A. D. Polonsky // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 84-90.

Invariable algebra of rank predicates (IARP) is worked out on the basis of a number of scalar products to give the mathematical description of the neuron-like systems (NLS) under conditions of indefiniteness of random observations. The element basis of IARP called ranker (computational neuron) is elaborated for electric modeling of NLS. It is suggested the method of predicate-logic synthesis of NLS on the basis of learning to define the relations among observations.

Fig.6. Ref.: 4 items.

УДК 621.3:681.3

**Обеспечение устойчивости системы психофизиологического состояния ЛПР в системах поддержки принятия решений** / Вал. Н. Бурцев, Вл.Н. Бурцев, А.Л. Ерохин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 91-95.

Рассмотрены пути обеспечения устойчивости системы психофизиологического состояния лица, принимающего решение. Предложены и исследованы гипотезы взаимодействий лица, принимающего решение и резонансного хронотопа.

Библиогр.: 32 назв.

УДК 621.3:681.3

**Забезпечення стійкості системи психофізіологічного стану ОПР в системах підтримки прийняття рішень** / Вал. Н. Бурцев, Вл.Н. Бурцев, А.Л. Єрохін // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 91-95.

Розглянуті шляхи забезпечення стійкості системи психофізіологічного стану особи, яка приймає рішення. Запропоновано та досліджено гіпотези взаємодій особи, яка приймає рішення та резонансного хронотопу.

Бібліогр.: 32 назв.

UDC 621.3:681.3

**Assurance of steadiness of decision-makers psychophysiological status in the decision making systems** / Val. Burtsev, Vl. Burtsev, A. Yerokhin // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 91-95.

The ways of assurance of steadiness of decision-makers psychophysiological status is considered. The hypothesis of interaction of decision-makers and resonant chronotop are offered and investigated.

Refs: 32 items.

УДК 656.13.072/073

**Направления повышения безопасности движения с учетом функционального состояния водителя** / Ю.А. Давидич // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 96-98.

Рассмотрены вопросы повышения безопасности движения за счет организации транспортного процесса с учетом состояния водителя. Приводится анализ методов оценки состояния водителя и модель, позволяющая описать изменение состояния водителя при движении по маршруту

Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

УДК 656.13.072/073

**Напрямки підвищення безпеки руху з урахуванням функціонального стану водія** / Ю.А. Давідіч // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 96-98.

Розглянути питання підвищення безпеки руху за рахунок організації транспортного процесу з урахуванням стану водія. Наводиться аналіз методів оцінки стану водія та модель, яка дозволяє описати зміну стану водія при русі по маршруту

Ил. 1. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 656.13.072/073

**The direction of traffic safety increase with regard to the functional driver's condition** / Y. Davidich // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 96-98.

The issues of traffic safety increase due to organization of transport process with regard to the driver's state are considered. Analysis of methods estimating the driver's state and the model permitting to describe the changing of the driver's state at moving along the route are given.

1 fig. Ref.: 8 items.

УДК 66.11.021.2

**К вопросу моделирования движения автомобилей и выбора водителем пути следования** / В.К. Доля, М.А. Григоров // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57. С. 99-102.

Рассмотрены вопросы моделирования движения автомобилей и выбора водителем пути следования. Проведен анализ факторов, влияющих на выбор водителем пути следования и приведена методика проведения натурных обследований.

Ил. 1. Библиогр.: 11 назв.

УДК 656.11.021.2

**До питання моделювання руху автомобілів та вибору водієм траси слідування**

/ В.К. Доля, М.А. Григоров // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 99-102.

Розглянуті питання моделювання руху автомобілів та вибору водієм траси слідування. Проведений аналіз факторів, які впливають на вибір водієм траси слідування та наведена методика проведення натурних обстежень.

Ил. 1. Бібліогр.: 11 назв.

UDK 656.11.021.2

**The automobile moving simulation issue and a driver's choice of the route** / V. Dolya, M. Grigorov

// Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 57. P. 99-102.

The automobile moving simulation issues and a driver's choice of the route have been considered. The factors influencing the driver's choice of the route are analysed and methods of carrying out natural observations are given.

1 fig. Ref.: 11 items.

УДК 532.529

**Исследование транспорта жидкости и структуры оптимальной микроциркуляторной ячейки**

/ Н.Н. Кизилова, М.Г. Столкінер // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 57.

С.103-108.

В работе исследуется течение жидкости в микроциркуляторной ячейке листа растения. Ячейка представлена прямоугольной областью, заполненной пористой средой с отрицательными источниками массы. Область ограничена каналами с проницаемыми стенками, по которым жидкость поступает в ячейку. Исследовано влияние неоднородности распределения источников массы, скорости на границах и формы ячейки на ее гидравлическое сопротивление. Выделены несколько типов оптимальных ячеек, сопротивление которых минимально при фиксированной суммарной мощности источников.

Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.

УДК 532.529

**Дослідження транспорту рідини та структури оптимальної мікроциркуляторної комірки**

/ Н.М.Кізілова, М.Г.Столкінер // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С.103-108.

В роботі досліджується течія рідини в мікроциркуляторній комірці листків рослин. Комірка подана як прямокутна область, яка заповнена пористим середовищем з негативними джерелами маси. Область обмежена каналами з проникливими стінками, крізь які рідина поступає у комірку. Досліджено вплив неоднорідності розподілу джерел маси, швидкостей на границях та форми комірки на її гідралічний опір. Виділено кілька типів оптимальних комірок, опір яких має мінімум при постійній загальній потужності джерел.

Ил. 3. Бібліогр.: 7 найм.

UDC 532.529

**Investigation of fluid transport and structure of the optimal microcirculatory cell**

/ N.N.Kizilova, M.G.Stolkiner // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 57. С. 103-108.

Motion of fluid in microcirculatory cell of plant leaf is investigated. The cell is considered as rectangular area filled with the porous medium with negative sources of mass. The area is confined by channels with permeable walls. The influence of nonuniformity of sources of mass distribution, speeds on borders and form of a cell on its hydraulic resistance is investigated. Several types of optimal cells which resistance is minimal at the fixed total power of sources are revealed.

3 fig. Ref.: 7 items.