

007(06)  
Я 48

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

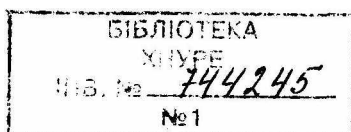
# ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник

Основан в 1968 г.

ВЫПУСК 56

25-летию  
основания кафедры ВТ  
посвящается



Харків 2002  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**УДК 519.7**

*В сборнике публикуются статьи по БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА.*

*Рассматриваются: системы искусственного интеллекта, вопросы архитектуры их построения, базы данных, анализ изображений, интеллектуальная поддержка принятия решений, методы проектирования обучающих систем, методологические аспекты информатики, математика информационных процессов.*

*Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.*

*У збірнику публікуються статті з БІОНІКИ ІНТЕЛЕКТУ.*

*Розглядаються: системи штучного інтелекту, питання архітектури їх побудови, бази даних, аналіз зображень, інтелектуальна підтримка прийняття рішень, методи проектування навчаючих систем, методологічні аспекти інформатики, математика інформаційних процесів.*

*Для викладачів вищих закладів освіти, науковців і фахівців.*

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

The topics considered are: artificial intelligence systems, problems of their architecture constructions, data base, image analysis, intellectual support of decision-making, methods of instruction systems design, methodological aspects of information science, mathematics of information processes.

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 государственный технический университет радиоэлектроники (ХТУРЕ),  
тел. 40-94-46

УДК 519.71

М. Ф. БОНДАРЕНКО, Г. Г. ЧЕТВЕРИКОВ

**ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНИХ ПОБУДОВ ПРОСТОРОВИХ К-ЗНАЧНИХ СТРУКТУР  
МОВНИХ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ****Проблема інтелектуалізації цифрових мереж та мовних систем**

Розвиток обчислювальної техніки є базою автоматизації розумової діяльності, і тому виникло нове поняття штучного інтелекту (ШІ). Проте, успіхи в галузі інтелектуалізації обчислювальної техніки незначні, особливо, якщо порівнювати досягнуте з очікуваними результатами та прогнозами. Доводиться визнати, що термін „штучний інтелект” відображає поки ще нездійсненні очікування. Основні проблеми, перед якими зупинились вчені на перших етапах створення ЕОМ у 50-х роках нашого століття, до цього часу не вирішені. Якщо машини приречені на інтелект, то міркувати вони будуть за тими ж законами, що й людина. Нейрофізіологічні дослідження природного інтелекту мозку показують наявність у ньому механізмів багатозначного (к-значного) кодування та просторового характеру активності мереж нервових клітин й організації мозкових механізмів.

Для створення відповідних для ШІ к-значних структур необхідний новий підхід, нова теоретична база їх побудови, а для цього недостатньо досліджень тільки у галузі однієї науки. Тобто, дослідження окремо в методах синтезу, кодування, комбінаторики, надійності та точності не дають відповіді на питання оптимального шляху побудови відповідних за властивостями багатозначних структур. Справа у тому, що всі перелічені теорії утворюють замкнуті математичні системи і ті істини, що ними породжуються, не дають всебічного підходу до побудови оптимальних багатозначних структур, і створюється множина істин, явищ та факторів, що піддаються пізнанню та розумінню, але які не дають відповіді на кардинальне питання як та для яких задач можна і необхідно створювати багатозначні структури.

Усе це породжує нові й непереборні труднощі, зокрема радикальні зміни архітектури обчислювальних систем з елементами паралелізму, за умов збереження в основі найманівського процесора, не дозволили суттєво збільшити швидкість й перейти до вирішення задач побудови та реалізації високопродуктивних систем ШІ; підвищення швидкості під час оброблення окремих символів та макро- і примітивних операцій, за умов застосування двозначного кодування й обчислювального характеру дії, не привело до рішення задач інтелектуального рівня у необхідному обсязі; важко розробити ефективні методи паралельного оперування знаннями, а не даними; неможливо вирішити задачі створення інтелектуального інтерфейсу та семантичного розшарування знань про об'єкти механізмів логічного виводу [1–4].

Оскільки всі розумові здібності, які необхідно передати машині, вже наявні у людини на достатньо високому рівні розвитку, і ніякий інший інтелект, крім людського, науці недоступний, то міркувати машини будуть за тими ж законами, що й людина. Нейрофізіологічні дослідження природного інтелекту мозку людини показали наявність у ньому дво- та багатозначного (к-значного) кодування, просторового характеру активності мереж нервових клітин і організації діяльності мозку. Отже можна сформулювати основні вимоги щодо властивостей структур та елементів для побудови новітніх високоефективних систем ШІ. Вони повинні реалізувати компараторні функції багатозначної логіки та кодування, а також володіти властивостями універсальності, просторовості, гібридності, гнучкого перенастроювання без зміни структури, ієрархічності, за складністю бути порівняні із складністю вирішуваних задач. Аналіз показує, що найближчими за вказаними властивостями є багатозначні універсальні просторові елементи та структури і розвитку таких засобів надається велика увага в усьому світі.

Основні напрямки розробки сучасної елементної бази інформатики орієнтовані на підвищення продуктивності та зниження вартості радіоелектронних та інформаційно-обчислювальних систем і мереж, завдяки розвитку напівпровідникової технології: збільшення функціональної щільності та міри інтеграції радіоелектронних схем [5]. Але граничні фізико-технічні показники щодо функціональної щільності та енергоспоживання й розсіювання тепла досягають своєї практичної межі, і тому одним з можливих виходів з цієї ситуації є створення та застосування к-значних елементів та структур [6]. Адже згідно з одним із основних законів кібернетики, законом необхідної різноманітності (складності) [7], для нормальної роботи керованої системи, при якій забезпечується повне використання її потенціалу, необхідно, щоб різноманітність (складність) керованої системи була не менша ніж різноманітність керованого об'єкту. Звідси й висновок: що двозначна елементна та структурна база не відповідає за скла-

дністю задачам ШІ, що на них покладаються і підлягає доповненню універсальною  $k$ -значною елементною та структурною базою, яка за своєю складністю (різноманітністю) стоїть значно вище.

Розробка теорії та інженерних методів проектування  $k$ -значних елементів та структур розпочалась з 60-х років і цей процес не припиняється ось уже більше третини віку. В 70-х роках ряд зарубіжних фірм (Signetics, Texas Instruments, Fairchild Camera and Instrument Corp., Hitachi та Philips) почали вести інтенсивні розробки інтегрованих схем із застосуванням  $k$ -значної логіки. У 80-х роках у нас в Україні теж були розроблені та виготовлені дослідні зразки першої мікросхеми з використанням  $k$ -значної логіки на базі І<sup>2</sup>Л-схемотехніки (див. табл.). За 1970–1990 рр. проведено 20 міжнародних симпозіумів з  $k$ -значної логіки (International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL)), організаторами яких були Association for Computing Machinery, IEEE Computer Society, а також університети США та Канади [6].

Запропонована значна кількість підходів та методів побудови і застосування багатозначних структур, проте відсутні їх систематизація та упорядкована система засобів реалізації, недостатньо опрацьовані принципи їх побудови і методи кількісної та якісної оцінки застосування під час створення систем ШІ, що свідчить про недостатній рівень розвитку теорії побудови таких структур. Подальший прогрес суттєво залежить від узагальнення і систематизації на єдиній методологічній основі накопиченого досвіду, розвитку й удосконалення системи понять, що повинні узгоджуватись із теорією інтелекту.

Модель розвитку науки BRETAM [6], яку запропонував на початку 70-х років професор Чиказького університету Д.Грейв, передбачає шість періодів розвитку науки: 1) прорив (Break); 2) копіювання (Repeat); 3) емпірика (Empirical); 4) теорія (Theory); 5) автоматизація (Automation); в) зрілість (Mature). На сучасному етапі у галузі створення  $k$ -значних структур ми маємо всі прикмети проходження дослідниками 1–3 етапів і настав час переходу до створення теорії узагальнюючих принципів побудови структур, моделей, законів та методів досліджень. Зокрема, необхідні обґрунтовані методи та принципи побудови універсальних багатозначних просторових структур з відповідною їх формалізацією; математичні моделі точності дії багатозначних структур на етапах розпізнавання та формування багаторівневих сигналів;  $k$ -значного завадостійкого кодування та ентропійних властивостей  $k$ -значних апаратурних каналів, необхідної уводимої надлишковості, надійності та метричних властивостей  $k$ -значних кодів та функцій.

Багатозначними ( $k$ -значними) навивають структури цифрових та радіоелектронних систем обробки інформації, що утворені множиною  $k$ -значних елементів й множиною відповідних зв'язків. Обчислювальна та кібернетична техніка, програмування та робототехнічні системи, цифрові мережі та їх протоколи, математичне моделювання процесів у великих інтегрованих схемах, автоматика та телебачення, зв'язок і радіолокація – ось далеко неповний перелік галузей науки та техніки, де сьогодні використовуються  $k$ -значна логіка, кодування, елементи та структури, хоча й в завуальованому вигляді через те, що відображення даних при цьому є двозначним.

Основні позитивні ефекти від застосування  $k$ -значних елементів та структур можна звести до наступного: створення систем штучного інтелекту, здатних до самоорганізації та самопрограмування, рішення надскладних задач розпізнавання образів мовних та зорових зображень, а також  $k$ -значних аналізаторів і синтезаторів сигналів, призначених для оперативного аналізу випадкових процесів та формування радіолокаційних сигналів, що зондують; створення систем завадостійкого кодування та захисту від несанкціонованого доступу із застосуванням теорії скінчених полів, що є за суттю  $k$ -значними; розвиток нового підходу до створення високоефективної потоково-просторової архітектури систем з елементами штучного інтелекту, адекватної до складності задач, що ними виконується; спрощення структури цифрових пристроїв оброблення даних через відсутність потреби проміжних перетворень десяткових чисел у двійкову форму та суттєве збільшення швидкості виконання арифметичних операцій; зменшення апаратурних затрат за рахунок зменшення довжини кодових зображень даних з ростом значності  $i$ , як наслідок, зниження вартості та енергоспоживання; ріст продуктивності цифрових систем та ЕОМ за рахунок скорочення часу виконання таких непродуктивних операцій, як вирівнювання порядків та нормалізація; зменшення числа зв'язків на функціональному та системному рівнях  $i$ , як наслідок, підвищення надійності пристроїв передачі цифрових даних, зниження масогабаритних показників та втрат дорогоцінних металів; створення високоефективних методів та засобів аналого-цифрового перетворення; створення методів моделювання елементів та структур із суміщенням процесів логічного моделювання та кількісного аналізу (на основі більшої деталізації зображення форми реального фізичного сигналу); забезпечення вищої швидкості передачі цифрових сигналів у межах заданої смуги частот; оптимізація програм згідно із заданими критеріями з використанням  $k$ -значних алгебр Поста тощо.

І разом з тим практичні здобутки у даній галузі вражаюче бідні у порівнянні з важливістю проблеми та величезними зусиллями, що затрачені упродовж третини віку на їх реалізацію. Дуже мало створено технічних засобів, що виявилися придатними для вирішення реальних задач автоматизації праці людини. Причини такого положення не переосмислені й до сьогоднішнього дня.

На наш погляд, справа у тому, що у підходах до аналізу та синтезу k-значних елементів і структур є ряд концептуальних помилок. Хибною є точка зору, що для k-значних структур  $k \geq 3$ . Практично ж  $k \in \{0, 1, 2, \dots, k-1\}$ , отже значність  $k=2$  існує у неперервному зв'язку з будь-якою іншою значністю. Ця очевидна й проста обставина приводить нас до наступного неочевидного висновку, що не існує необхідності альтернативного розмежування та протиставлення дво- та k-значних елементів та структур, і навпаки, слід шукати підходів, що поширювали б властивості співжиття (симбіозу) цих логік на елементний та структурний рівні.

По друге, присвоєння k-значною структурою значень алфавіту з множини  $E_k \in \{0, 1, \dots, k-1\}$  здійснюється з допомогою багаторівневих сигналів. Розпізнавання значень рівнів під час роботи k-значних структур фактично зводиться до вимірювання деякого фізичного параметра X (наприклад, напруги, струму, електричного заряду тощо). Для того щоб k-значний елемент чи структура могли безпомилково розпізнавати відображені сигналами значення алфавіту, вони повинні вимірювати їх з певною мірою точності.

Під точністю вимірювання чи формування k-значних сигналів розуміють інтервал припустимих відхилень, у якому з встановленою ймовірністю перебуває їх сумарна похибка. Дослідження [6, 9] підтвердили, що найголовнішою задачею під час створення k-значних структур є врахування та забезпечення вимог щодо точності їх роботи. Переважна ж більшість розробок k-значних структур базувалася на неадекватному теоретичному фундаменті двозначних елементів та структур, який взагалі не передбачає під час оброблення сигналів їх вимірювання з заданою точністю. Багато хто з дослідників, що займалися проблемою створення та застосування k-значних елементів та структур, і до сьогодні намагаються створити функціонально повні набори гранично простих елементів для задач форматного синтезу цифрових систем з k-значним структурним алфавітом за аналогією з тим, як це прийнято в двозначних методах та підходах. У результаті немає ні елементів, ні структур, ні систем.

У сучасних цифрових системах переважно використовується двозначне кодування, але оскільки обсяг даних, що передається, неухильно зростає, перед розробниками стає завдання підвищення перепускної здатності двозначних каналів обміну даними. Одним із шляхів його розв'язку є розпаралелювання каналів передачі аж до побітного передавання кожним з каналів. При цьому, чим більший обсяг даних необхідно передати, тим більше число зв'язків необхідно мати, а це приводить до збільшення ваги, габаритів та вартості апаратури, знижує її надійність. Отже найперспективнішим є використання просторових (паралельних) схем, структур та систем k-значної логіки, які забезпечують побудову швидкодіючих засобів обробки інформації та володіють вищими показниками щодо перепускної здатності за умов меншого числа зв'язків і компонент, ніж двозначні.

Багатозначні логічні елементи (БЛЕ) [1–4, 6, 9] за своєю структурною побудовою та принципами дії є перетворювачами інформаційних повідомлень, які характеризуються певними інформаційними ознаками. Якщо види вхідної та вихідної інформаційних ознак збігаються, то перетворювач називають однорідним. Задача створення однорідного перетворювача розв'язується з використанням проміжного перетворення, яке здійснює перехід від однієї інформаційної ознаки до іншої, використовуючи елементарні неоднорідні перетворювачі.

Перспективною при цьому вважається наступна група інформаційних ознак [6]: S – статична ознака (кожному з символів багатозначного структурного алфавіту ставиться у відповідність один з рівнів напруги чи струму); P – просторова ознака (символи алфавіту відображаються збудженим станом одного з k просторових полюсів); D – динамічна ознака (символам алфавіту відповідають певні інтервали часу для вибраного виду періодичних послідовностей імпульсів). Для цієї групи інформаційних ознак повідомлень існує тільки 3 елементарних неоднорідних перетворювачів:

$$\begin{aligned} S \rightarrow D; D \rightarrow S; P \rightarrow S; \\ S \rightarrow P; D \rightarrow P; P \rightarrow D. \end{aligned}$$

Початково найперспективнішими, у відношенні простоти схемної реалізації, були елементи, що будуються за структурою  $S \rightarrow D - D \rightarrow S$ , але ці ж елементи, на жаль, найменш швидкодіючі. З іншого боку, з удосконаленням твердотілої інтегральної схемотехніки та технології, число компонент (вентилів) не грає персважаючої ролі й на перше місце виходить вимога забезпечення високої швидкодії

БЛЕ. Тому, у подальшому, статичні просторові  $k$ -значні структури реалізуються за схемою  $S \rightarrow P - P \rightarrow S$ , як такі, що мають гранично високу швидкодію та можуть бути реалізовані із застосуванням твердотілої технології.

Під час реалізації БЛЕ згідно з принципом базису [6] здійснюється їх налагодження шляхом перекомутації базисних входів до відповідних виходів джерела базисних сигналів. Застосування окремого джерела каліброваних базисних сигналів обумовлюється необхідністю забезпечення відповідного рівня точності формування  $k$ -значних сигналів, і, як наслідок, необхідної ймовірності безвільмовної роботи  $k$ -значної структури в цілому, а також можливістю забезпечення універсальності БЛЕ за рахунок мультиплексування базисних входів. Хоча з іншого боку застосування  $k$ -значної  $l^2$ -схемотехніки і технології привело до створення розподілених у структурі ВІС та квантованих за рівнем струму інжекторів, які виконують роль локальних джерел базисних сигналів. При цьому були втрачені можливості забезпечення необхідної точності та повторюваності  $k$ -значних сигналів і принципово хороша ідея створення струмових  $k$ -значних схем так і не знайшла свого втілення у промислові зразки. Більше того, дослідження просторових універсальних багатозначних функціональних перетворювачів (УБФП) потенційного типу, які проведені у роботах [1–4, 6, 9, 10], теж довели перспективність використання розподілених у структурі параметричних формувачів опорних і базисних сигналів.

Отже, аналіз стану справ у галузі розроблення автоматизованих систем управління з елементами штучного інтелекту свідчить про те, що основними орієнтирами на магістральному напрямку ІІІ є створення швидкодіючих (просторових), універсальних, гнучко переналагоджуваних структур і більшість з цих ознак володіють якраз просторові  $k$ -значні структури, зокрема комплекс, до якого входять перетворювачі двозначних кодів у багатозначні й навпаки, універсальні багатозначні функціональні перетворювачі та просторово-об'ємні  $k$ -значні комутатори. Застосування  $k$ -значної логіки та універсальних  $k$ -значних структур виправдане також і тим, що мовні і зорові образи природного інтелекту багатозначні, а його механізми дії дискретні.

Аналізуючи стан справ в теорії інформації, теорії обчислювальних систем, теорії кодування, теорії автоматичних систем керування, теорії радіосистем, тільки в теорії інформації та кодування і  $k$ -значній логіці знаходимо ті першооснови, що із самого початку, у якості формальних математичних понять, використовують поняття  $k$ -значних основ систем числення. Оскільки багатозначні елементи та структури за принципами дії є перетворювачами інформаційних повідомлень, які, як апаратурні канали, характеризуються певними інформаційними ознаками, то для формування теорії багатозначних структур та відповідних їх досліджень використовуються математичні моделі Шеннона [11] каналів передачі даних з  $k$ -значним кодуванням за умов виникнення завад. Отже, теорія побудови  $k$ -значних структур розвивається зі стику декількох дисциплін, ряду теорій  $k$ -значної логіки та теорій кодування, точності та чутливості. Такий підхід забезпечує поєднання результатів досліджень точності роботи  $k$ -значних елементів та структур з методами й моделями теорії кодування і розроблення методів їх оптимізації за єдиними та спільними ймовірнісними критеріями.

Слід відмітити, що одним із найперспективніших напрямків застосування теорії багатозначних структур і кодування в системах штучного інтелекту на практиці є моделювання природної мови. Цей підхід дозволяє поряд з розвитком варіантів програмної реалізації отриманих моделей мови здійснити інший підхід – схемний. Мозок, при цьому, розглядається як відправна точка побудови  $k$ -значних просторових структур мовних систем штучного інтелекту.

Таким чином, з появою та широким застосуванням багатозначних універсальних просторових структур у системах ІІІ виникає комплекс взаємопов'язаних теоретичних, методичних та схемотехнічних задач їх побудови й реалізації, що є складною проблемою. Вирішення її є актуальним і має стратегічне значення для виходу кризової ситуації під час створення систем ІІІ зі зменшенням величезних затрат часу та засобів фінансування, а стислий аналіз стану свідчить про актуальність і велике наукове та прикладне значення даної проблематики.

### **БПФ як базовий модуль аналізу та синтезу лінгвістичних об'єктів**

Основні поняття та визначення. Морфологічний аналіз (МА) – це оброблення словоформ без зв'язку з контекстом. Словоформа – це відтинок тексту між двома просвітками. Розділові знаки вважаються окремими словоформами. Задачею морфологічного аналізу є ідентифікація словоформ та присвоєння кожній словоформі комплексу морфологічної інформації (КМІ). Такий комплекс складається із морфологічно-інформаційних рядків (строк) (МІ-строк), структура яких така: номер. <(основа чи ознаки основи), МІ>, де номер – порядковий номер даної словоформи у фразі; основа (ознака ос-

нови) – код семантичної ознаки, номер синтаксичної чи семантичної моделі керування, що присвоєні даній основі у словнику основ; МІ – частина мови та її граматичні категорії: рід, число, відмінок, час, лице тощо [1, 12].

**Алгоритміка.** Існує два методи реалізації [1, 12] морфологічного аналізу: словниковий (декларативний – використовується для аналізу мов із нерозвинутим відмінюванням слів (англійська, французька тощо)), для аналізу української мови використовується алгоритмічний (процедурний) морфологічний аналіз. При МА здійснюється розчленування слів на основу та закінчення, і в словниках зберігаються як основи, так і їх закінчення. МА здійснюється шляхом пошуку в складі словоформи, що аналізується, деякої словникової основи та певного словникового закінчення. Потім здійснюється порівняння інформації про основу та закінчення і отримується КМІ для всієї словоформи.

Під час МА змінюваної словоформи її кінцеву частину за чергою порівнюють із закінченнями словника. Якщо порівняння відбулося, то ту частину словоформи, що збіглася відокремлюють і отримують припустиму основу (ПОС), припустиме закінчення (ПЗК) та припустиму морфологічну інформацію (ПМІ).

Дані про ПЗК (ПМІ) зчитують із словника закінчень (морфологічної інформації). Потім переходять до пошуку інших ПЗК, ПОС та ПМІ.

На другому кроці аналізу словоформи виконується ідентифікація її можливих основ шляхом перевірки збіжності отриманих ПОС із основами машинного словника основ.

На третьому кроці МА словоформи зрівнюється інформація з тими ПОС та ПЗК, що отримали підтвердження з допомогою словника основ.

Ефективність МА суттєво залежить від виду подання машинних словників у пам'яті ЕОМ та способу їх кодування. При цьому доцільно мати окремий допоміжний словник перенумерованих основ, що наявні у одному примірнику та розташовані в алфавітному порядку.

Для подання значень граматичних категорій будь-якої словоформи використаємо 9-ти розрядний 10-значний код. У р(1), р(2) – закодовано частину мови словоформи, р(3) – тип та клас прийменника чи живості (іменника, повного прикметника); р(4) – дієслово 1–3 особи відповідно; р(5) – код значення числа (однина, множина); р(6) – код відмінка (іменний, родовий, давальний.); р(7) – код категорії пасивності-активності; р(8) – код часу (теперішній, минулий, майбутній); р(9) – код категорії виду (доконаний, недоконаний) закінчення [12].

Для формування однієї МІ-строки до всієї словоформи порівнюють код основи та код закінчення на відповідність їх перших п'яти розрядів, якщо збіжності немає, то дані несумісні. Для порівняння вибирається черговий код закінчення. Якщо відповідність встановлена, то решта розрядів результуючого коду формуються за правилами 10-значної диз'юнкції (див. табл.) значень відповідних розрядів кодів основи та закінчення. При цьому попередньо перевіряється умова збіжності операндів чи рівність одного з них нулеві.

Приклад: словоформа "аналізу" має ПЗК = "у", ПОС = "аналіз":

"аналіз" – <001 01 21 00 000>  
 "у" – <001 01 01 12 000>  
 "аналіз" – <001 01 21 12 000>

Таблиця

f(X <sub>1</sub> ,X <sub>2</sub> )=max (X <sub>1</sub> ,X <sub>2</sub> )		X <sub>2</sub>									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X <sub>1</sub>	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	2	2	2	3	4	5	6	7	8	9
	3	3	3	3	3	4	5	6	7	8	9
	4	4	4	4	4	4	5	6	7	8	9
	5	5	5	5	5	5	5	6	7	8	9
	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	9
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Отримана МІ відповідає таким ознакам: 001 – морфологічний тип, іменник, неживий, чоловічий рід, однина, родовий відмінок.

Апаратні побудови. Основні поняття [5]. Стосовно апаратної реалізації алгоритму, розглянутого прикладу МА, найближчим підходом є застосування неоднорідних систем типу "базова машина + функціонально орієнтований процесор" (БМ+ФОР) (рис.1). ФОР – це процесори ефективною реалізації достатньо складних функцій, що мають значну питому вагу в задачах, які вирішуються. ФОР поділяються на програмовані та непрограмовані. Непрограмовані ФОР називають спеціалізованими

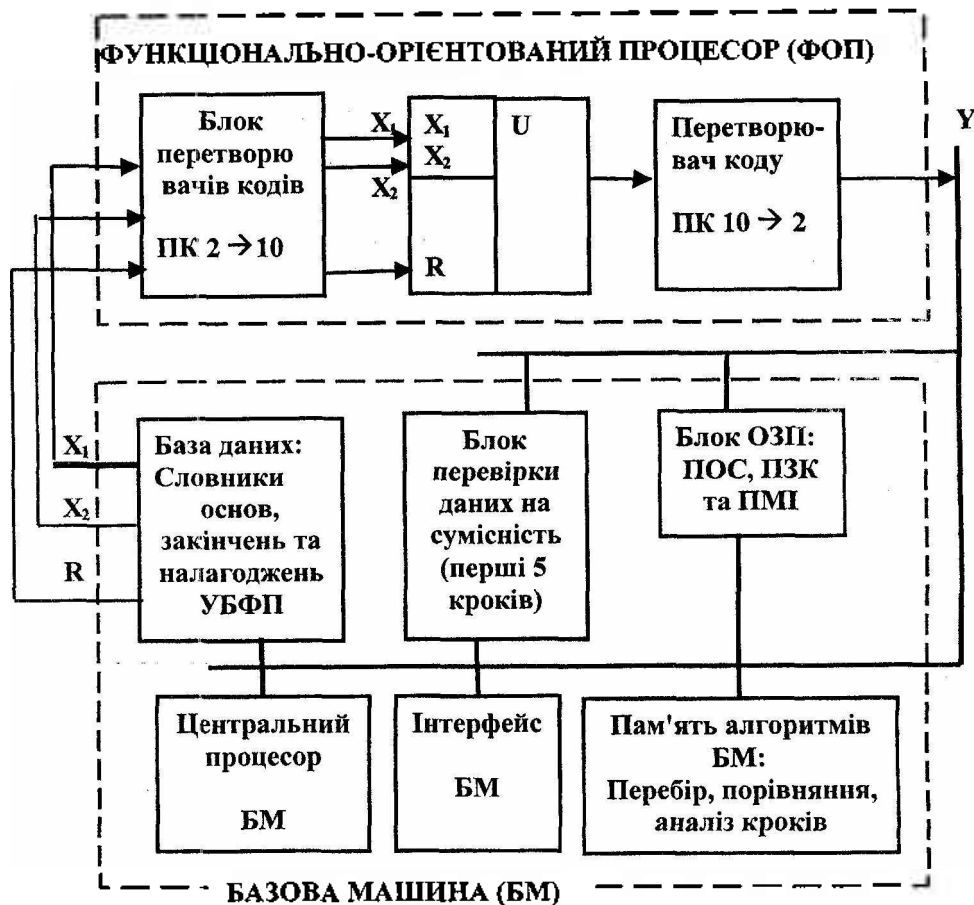


Рис. 1. Структура проблемно-орієнтованої системи морфологічного аналізу

процесорами. Вони обчислюють елементарні функції, здійснюють перетворення координат тощо. Програмовані – мають свою систему команд, яка відрізняється від системи команд БМ.

Очевидно, що в основі апаратної побудови проблемно-орієнтованої системи для нашого випадку буде лежати структура "базова машина + програмований ФОП на базі універсального двовходового десятизначного елемента" (рис. 2 а, б) [2,13].

Оскільки алгоритм МА передбачає ряд кроків автоматичного перебору, порівняння та покрокового аналізу результатів обчислень, до апаратних засобів БМ відносяться: пам'ять словників основ та закінчень, а також оперативну пам'ять припустимих основ, припустимих закінчень та припустимої морфологічної інформації, оперативна пам'ять налагоджень універсального елемента на виконання певної логічної функції – у нашому прикладі це функція вибору максимального з двох значень. Стикування десятизначного елемента з БМ, щоб на сьогоднішній день двозначною, вимагає наявності перетворювачів кодів (ПК) з двозначного коду в десятизначний та навпаки (ПК 2→10 та ПК 10→2). Процедура морфологічного аналізу вимагає також окремого лічильника на п'ять кроків для перевірки даних на сумісність (рис. 1).

Основні переваги застосування такого апаратного вирішення задачі МА полягає в наступному:

1. Підвищення міри регулярності структури ФОП.
2. Скорочення термінів розроблення системи.
3. Можливість використання працівників нижчої кваліфікації під час проектування.
4. Зниження трудомісткості під час конструювання.
5. Гнучкість архітектури.
6. Спрощення ремонту та заміни модулів, що вийшли з ладу.
7. Зручність від використання скороченої експлуатаційної документації.
8. Зменшення кількості ЗП.
9. Зменшення числа типів кристалів та підвищення регулярності внутрішньої структури ВІС і НВІС.
10. Підвищення швидкодії за рахунок граничного паралелізму в роботі структури універсального елемента просторового типу.

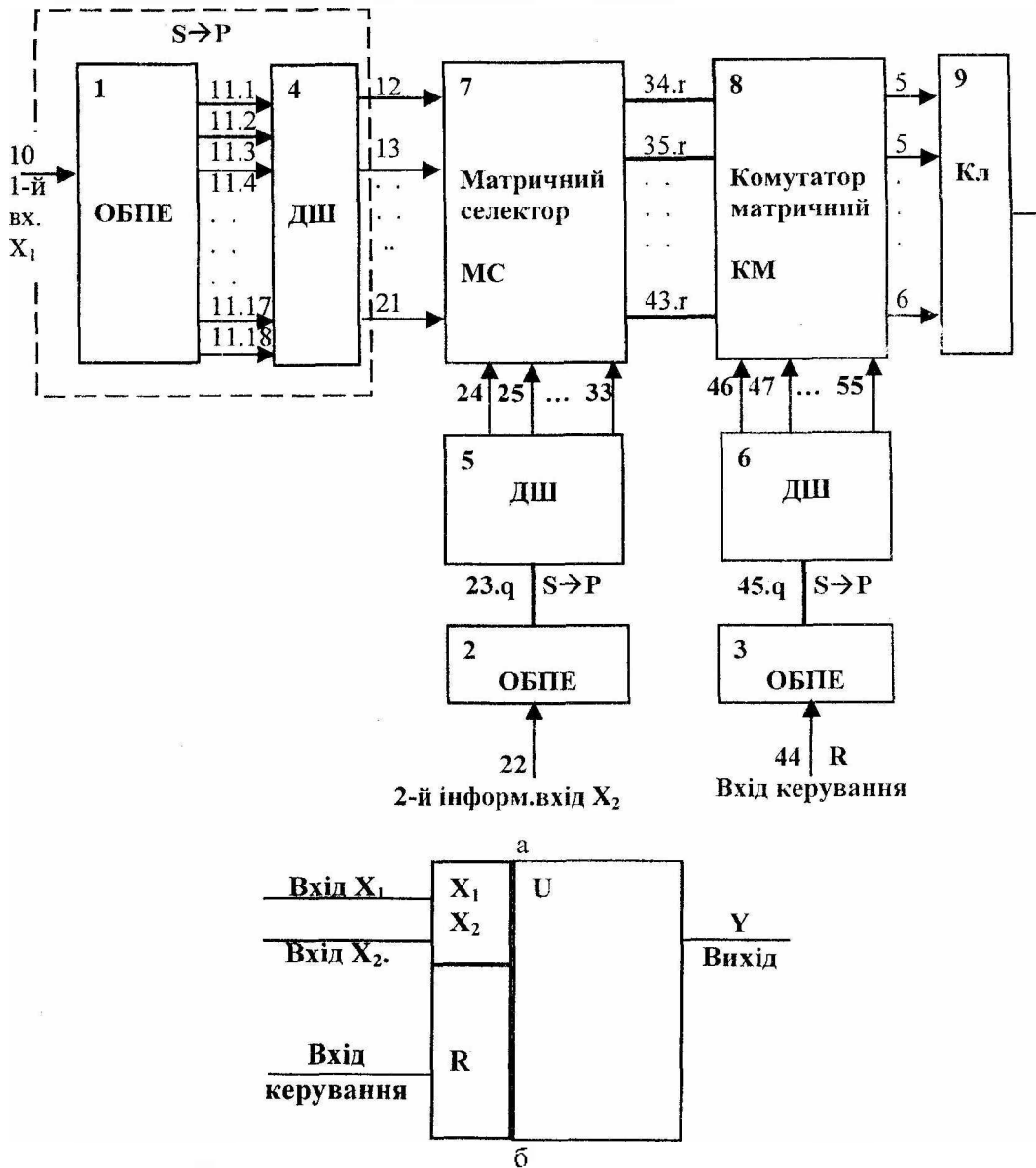


Рис. 2. Схема двовходового універсального k-значного логічного елемента: а) структура, б) умовне позначення

**Список літератури:** 1. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії синтезу надшвидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту. К.: ІЗМН, 1997. 264с. 2. Четвериков Г.Г. Формалізація принципів побудови універсальних k-значних структур мовних систем штучного інтелекту // Доповіді НАН України. 2001. №1 (41). С.73-76. 3. Четвериков Г.Г. Аналіз нових шляхів побудови швидкодіючих універсальних k-значних структур для систем штучного інтелекту // АСУ и приборы автоматки. Харьков: ХНУРЭ. 2001. №114. С.39-42. 4. Пат. 2147789 РФ, МКВ НОЗК 19/02, НОЗМ 1/00. Функциональный преобразователь с многозначным кодированием / М.Ф. Бондаренко, З.Д. Коноплянко, Г.Г. Четвериков (Україна). №97101717/09; заявл. 04.02.97; опубл. 24.04.2000, Бюл. №11. 6с. 5. Функционально-ориентированные процессоры / А.И.Водяхо, В.Б. Смоллов, В.У.Плюснин и др. / Под ред. В.Б.Смоллова. Л.: Машиностроение, 1988. 224с. 6. Реализация многозначных структур автоматки / Под ред. М.А.Ракова. Киев: Наукова думка, 1976. 350 с. 7. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: ИЛ, 1959. 345 с. 8. Будущее искусственного интеллекта. М.: Наука. 1991. 302с. 9. Надійність многозначних структур // Григорьев В.В., Кметь А.Б., Коноплянко З.Д. и др. К.: Наукова думка, 1981. 157 с. 10. Пат. 14935 Україна, МКВ НОЗК 19/08. Функциональный перетворювач // М.Ф.Бондаренко, З.Д.Коноплянко та Г.Г.Четвериков; опубл. 04.03.97, Бюл.№2. 11. Шеннон К.-Э. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 870 с. 12. Бондаренко М.Ф., Осыка А.Ф. Автоматическая обработка информации на естественном языке. К.: УМК ВО, 1991. 142 с. 13. Пат. 20462 Україна, МКВ НОЗК 19/08. Двовходовий багатозначний логічний елемент / Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. 4 с.; опубл. 15.07.97, Бюл. 3.

Поступили до редколлегии 24.05.2002

УДК 621.311:658.011.56

М. Ф. БОНДАРЕНКО, З. В. ДУДАРЬ, М. В. ЗБИТНЕВА

**SCADA-СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Характерной чертой развития электроэнергетики за последние несколько десятков лет является активная деятельность по совершенствованию структуры оперативно-диспетчерского управления электрическими сетями и реконструкции диспетчерских центров. Эта работа, которая проводится как в Украине, так и за рубежом, базируется на постоянно совершенствующихся технических средствах сбора, обработки и отображения информации. Технической основой реконструкции систем диспетчерского управления являются информационно-вычислительные комплексы, включающие ЭВМ разной структуры и производительности, микропроцессорные системы телемеханики, высокопроизводительные системы передачи данных, современные средства отображения информации. Реконструкция диспетчерских центров, начинающаяся, как правило, с высших уровней управления, в настоящее время все шире распространяется на низшие уровни управления вплоть до районов электрических сетей.

На основе информационно-вычислительных комплексов и современного прикладного программного обеспечения коренным образом преобразовываются и совершенствуются АСДУ. В результате повышаются надежность и экономичность работы энергосистем при одновременном повышении качества работы оперативного персонала. За последние пять лет существенные изменения произошли в используемых на диспетчерских центрах средствах отображения видеоинформации. Качественно новые технические характеристики современных мониторов побудили разработчиков к решению задачи перевода диспетчерской графической информации в ее электронный вариант. Это позволяет значительно расширить возможности и круг задач, автоматически решаемых графической подсистемой АСДУ, создает предпосылки для использования экспертных систем при решении этих задач.

АСДУ в большинстве случаев являются организационно-техническими системами, что означает наличие функций, выполняемых оператором. Несколько десятков лет назад эти функции заключались в основном в наблюдении за контрольно-измерительными приборами и непосредственном ручном управлении технологическим процессом. С появлением микропроцессорной техники взаимодействие между оператором и технологическим процессом стало осуществляться с помощью SCADA систем, получивших широкое внедрение в АСУ ТП, в частности в нефтегазовой промышленности и электроэнергетике [1-7].

SCADA-система – (Supervisory Control And Data Acquisition System) – система сбора данных и оперативного диспетчерского управления, обеспечивает выполнение следующих основных функций [8]:

- 1) Прием информации о контролируемых технологических параметрах от контроллеров нижних уровней и датчиков.
- 2) Сохранение принятой информации в архивах.
- 3) Вторичная обработка принятой информации.
- 4) Графическое представление хода технологического процесса, а также принятой и архивной информации в удобной для восприятия форме.
- 5) Прием команд оператора и передача их в адрес контроллеров нижних уровней и исполнительных механизмов.
- 6) Регистрация событий, связанных с контролируемым технологическим процессом и действиями персонала, ответственного за эксплуатацию и обслуживание системы.
- 7) Оповещение эксплуатационного и обслуживающего персонала об обнаруженных аварийных событиях, связанных с контролируемым технологическим процессом и функционированием программно-аппаратных средств АСУ ТП с регистрацией действий персонала в аварийных ситуациях.
- 8) Формирование сводок и других отчетных документов на основе архивной информации.
- 9) Обмен информацией с другими подсистемами АСУ предприятием.
- 10) Непосредственное автоматическое управление технологическим процессом в соответствии с заданными алгоритмами.

Наличие функций и объем их реализации сильно варьируются от системы к системе. Программное обеспечение с ярко выраженным упором на функции взаимодействия с оператором (визуализация информации и т. п.) часто называют пакетами MMI (Man Machine Interface), или HMI (Human Machine Interface).

Анализ SCADA-пакетов показывает, что они содержат следующий набор средств [9]:

- базу данных объектов, их параметров, и диалоговый редактор БД;
- графические редакторы статических и динамических изображений;
- графический редактор символов, который позволяет создавать библиотеки типовых пиктограмм, используемых графическими редакторами статических и динамических изображений;
- средства сбора и отображения данных предыстории по любому параметру БД;
- генератор отчетов, который позволяет формировать отчеты по данным реального времени и предыстории;
- средства отображения событий реального времени (мнемосхемы, тренды, сводки событий и тревог, звуковая или речевая сигнализация и т. п.);
- средства обработки параметров и вычислений, задаваемых пользователем алгоритмов управления.

В таблице приведен перечень наиболее известных SCADA-пакетов.

Таблица

Название SCADA-системы	Фирма-изготовитель	Страна	Операционная система
InTouch	Wonderware	США	Windows
Genesis	Iconics	США	Windows
WinCC	Siemens	Германия	Windows
RealFlex	BJ Software Systems	США	QNX
Sitex	Jade Software	Англия	QNX
IFIX	Intellution	США	Windows
Trace Mode	AdAstra	Россия	Windows
Genie	Advantech	США	Windows

Подавляющее большинство SCADA-систем реализовано на MS Windows платформах [4]. Именно такие системы предлагают наиболее полные и легко наращиваемые MMI средства. Учитывая продолжающееся усиление позиций Microsoft на рынке операционных систем следует отметить, что даже разработчики многоплатформных SCADA-систем приоритетным считают дальнейшее развитие своих SCADA-систем на платформе Windows. Быстрое развитие OPC-технологий, низкие цены аппаратного обеспечения, распространённость Windows на офисных рынках совместно с её солидными техническими характеристиками – главные причины того, что абсолютное большинство производителей SCADA-пакетов остановили свой выбор на этой операционной системе.

Рассмотрим некоторые пакеты, работающие под управлением ОС Windows. Наиболее известными и доступными из них являются: RealFlex, Sitex [9], iFix [10], GENIE, GENESIS [3, 11, 8].

Пакет RealFlex поставляется с полным набором модулей, обеспечивающих пользователя всем необходимым для разработки и функционирования АСУ ТП, и включает утилиты конфигурирования, процессоры данных реального времени и тревог, а также средства для вычислений, обработки дискретных и аналоговых данных, архивирования данных предыстории, отображения и генерации отчетов. Дополнительно могут быть включены следующие средства: BJScan – связь нескольких RealFlex-пакетов через глобальную сеть, RemFlex и LanFlex – утилиты для соединения с центральной БД RealFlex соответственно по последовательному каналу или через локальную сеть, Control Sequence Language – язык управляющих последовательностей, RealTalk – управляемый событиями речевой сигнализатор, Recipe Loader – загрузчик начальных установок, Statistical Process Control – статистический пакет управления процессами, TermFlex – доступ к RealFlex через алфавитно-цифровой терминал, DDE Bridge – связь RealFlex с приложениями MS Windows 3.x.

Пакет Sitex функционально можно разделить на следующие компоненты: сервер распределенных баз данных реального времени и построитель БД; редактор системных сообщений; редактор сообщений тревог; утилиты конфигурирования сервера ввода-вывода; редактор символов; объектно-ориентированный графический построитель; редактор динамических экранов; процессор данных; менеджер тревог/событий; утилиты конфигурирования тревог; сервер предыстории; менеджер доступа; менеджер управления; генератор отчетов; встроенные средства поддержки работы в сети.

Пакет Sitex разработан как система с архитектурой клиент/сервер, что предоставляет пользователю возможность взаимодействовать с выбранными им серверами БД реального времени. Каждый сервер БД определяется уникальным именем. Если это имя уже есть в рамках локальной сети, то данный сервер начинает работать в режиме «горячего» резерва. БД Sitex состоит из нескольких групп данных. Каждая группа может определяться как логический набор записей, связанных с данными, приходящими от нескольких физических источников, или может привязываться к единственному физическому устройству, такому как программируемый логический контроллер (Programmable Logic Controller) или удаленное терминальное устройство (Remote Terminal Unit). В Sitex с помощью Менеджера доступа реализован очень развитый механизм разграничения доступа, особенно важный при одновременной работе множества операторов и серверов БД.

Пакет GENIE является инструментальным средством, состоящим из двух основных программных модулей: построителя стратегий и исполнительной среды. Построитель стратегий используется для проектирования и тестирования проектов, называемых стратегиями, а исполнительная среда – только для исполнения стратегий. Кроме того, в составе пакета имеется программа установки и настройки устройств ввода/вывода, а также набор динамически компокуемых библиотек (DLL), выполняющих различные функции в процессе разработки и выполнения программного обеспечения SCADA. GENIE имеет модульно-ориентированную, открытую интегрированную архитектуру. Открытость архитектуры позволяет легко реализовывать взаимодействие GENIE с другими приложениями для совместного доступа к данным во время исполнения стратегий. Результат разработки приложения в GENIE сохраняется в файле стратегии.

Построитель стратегий GENIE предоставляет в распоряжение пользователя четыре различных редактора:

- редактор задач: реализация прикладных алгоритмов создаваемой системы;
- редактор форм отображения: создание динамических экранных форм отображения, связанных с исполняемой стратегией сбора данных и управления;
- редактор отчетов: разработка и генерация отчетов;
- редактор сценариев: управление задачами, вычислениями и анализом данных в процессе исполнения стратегии.

Указанные редакторы используются для создания, отладки и модификации задач, экранных форм, отчетов и сценарных процедур соответственно. Поскольку в рамках одной стратегии может присутствовать несколько задач, то имеется возможность создания множества окон в редакторе задач. По той же самой причине возможно создавать множество окон в редакторе форм отображения для редактирования множества экранных форм. Но поскольку для любой системы может быть только один основной сценарий, то в редакторе сценариев может быть открыто только одно окно.

Наиболее мощными SCADA-пакетами, работающими под управлением ОС Windows, являются iFIX и GENESIS32. iFIX имеет в своем составе один основной компонент, называемый WorkSpace, который в режиме исполнения реализует практически все функции SCADA-системы. GENESIS32 включает в себя три основных компонента, каждый из которых способен работать автономно и выполняет свою часть функций, в том числе в части интерфейса с оператором: GraphWorX32 – разработка и исполнение графических мнемосхем; TrendWorX32 – построение графических зависимостей контролируемых параметров и архивации; AlarmWorX32 – обнаружение, фильтрация и представление информации об аварийных событиях.

Авторами статьи [10] проведено тестирование подсистем SCADA-пакетов. Полученные данные позволили сделать вывод о том, что на базе любого из рассмотренных продуктов можно сделать работоспособный проект для всякой типовой задачи АСУ ТП.

К сильным сторонам GENESIS32 относятся более удачная реализация графической подсистемы и интерфейса OPC, компонентность, относительно низкая стоимость, локализация основных компонентов.

Пакет iFIX обладает большей устойчивостью к ошибкам в компонентах ActiveX, имеет более простую реализацию программного доступа к своим графическим объектам из VBA-скриптов, предоставляет больше возможностей для SQL-программирования и взаимодействия с базами данных, имеет более продвинутую систему управления доступом и протоколирования изменений.

Важную роль в разработке SCADA-систем играет интерфейс между оператором и ЭВМ. Чем удачнее он спроектирован и чем меньше времени необходимо на обработку визуальной информации, тем успешнее оператор осуществляет управление. Кроме этого в настоящее время в электроэнергетике

актуален вопрос наделения SCADA-систем функциями планирования режимов [12], а именно: прогнозирования потребления мощности и электроэнергии; расчета установившихся режимов, токов КЗ, уставок автоматических устройств; оптимизации схемы распределительной сети и режима по напряжению и реактивной мощности и др.

На сегодняшний день нет единого подхода к выбору SCADA-пакетов для АСДУ в электроэнергетике. Каждое предприятие осуществляет выбор в силу своей оценки доступных на рынке SCADA-систем, возможностей их покупки и рекомендаций разработчиков АСДУ. Так при модернизации диспетчерской АК "Харьковоблэнерго" был использован пакет iFIX, а при реконструкции АСУ ТП 1-го блока Нижневартовской ГРЭС был выбран путь дальнейшего развития и совершенствования SCADA-системы собственной разработки, получившей название "Венец НВ" [13]. При всех вариантах выбора, конечным результатом должен быть программный продукт решающий все задачи конкретной АСДУ и предоставляющий высокоуровневые средства проектирования, позволяющие самостоятельно вносить изменения в систему на технологическом уровне.

Одной из обязательных функций, реализуемой любой SCADA-системой, является предоставление оператору на экране наглядной информации о ходе технологического процесса. В связи с этим, большое значение имеют вопросы исследования методов разработки и реализации операторского интерфейса, обеспечения быстродействия графической подсистемы.

Диспетчерское управление электрическими сетями характеризуется большими объемами предоставляемой диспетчеру оперативной информации, многовариантностью решения задач управления и дефицитом времени принятия самих решений. Это приводит к затруднениям при восприятии оперативной информации, недостаточной скорости принятия управленческих решений и ошибками, допускаемыми оперативным персоналом во время работы.

В этом контексте актуальна проблема системного анализа задач обработки и отображения информации для управления электрическими сетями.

Основными структурными единицами, находящимися в оперативном управлении диспетчера электрических сетей, являются подстанции различных уровней напряжений. К элементам подстанций относятся: генераторы, трансформаторы, синхронные компенсаторы, коммутационные аппараты, шины и другое электрооборудование.

Формальное описание объектов электрической сети, их свойств и связей между ними позволяет автоматизировать ряд задач, выполняемых в системах диспетчерского управления. Свойства объектов и отношения между ними являются исходными данными для ряда задач, таких как выделение группы элементов по признаку общих свойств, обнаружение обрыва сети, расчет режима сети, контроль правильности проведения ремонтно-профилактических работ. Для решения этих задач необходим современный математический аппарат, который позволит формульно описывать и автоматически анализировать модели объектов и модель состояния электрической сети. В качестве такого инструмента выступает алгебра предикатов и предикатных операций, т.к. она позволяет записывать отношения в виде функций-предикатов и выполнять операции над ними. Предикаты взаимно однозначно связаны с отношениями. Описывая их формулами, тем самым косвенно описываются и соответствующие им отношения. Отношение это универсальное средство формального описания структуры любых объектов и связей между ними [14]. Отношения образуют системы различной степени сложности из соответствующих элементов, при этом одно и то же отношение может быть в различных объектах (внутренние отношения) или между различными объектами (внешние отношения). И, наоборот, один и тот же объект может вступать в бесконечно разнообразные отношения с другими объектами, что характеризует множественность свойств у того или иного объекта. Любой объект можно рассматривать как соотношение составляющих его элементов, с изменением которого меняется и сам объект.

В связи с этим актуально решение задач развития методов, способов и средств хранения, обработки, передачи и отображения информации, направленных на расширение круга задач анализа и синтеза моделей электрических сетей, автоматически решаемых программным обеспечением SCADA-систем и обеспечивающих своевременность и безошибочность принятия управленческих решений.

**Список литературы:** 1. Анзимиров Л.В. TRACE MODE управляет производством // Мир ПК. 1997. №12. С. 4-9. 2. Анзимиров Л., Айзин В., Фридлянд А. Новая версия TRACE MODE для Windows NT // Современные технологии автоматизации. 1998. № 3. С.56-59. 3. Кузнецов А. SCADA-системы: программистом можешь ты не быть // Современные технологии автоматизации. 1996. № 1. С.32-35. 4. Куцевич Н.А. SCADA-системы. Взгляд со сто-

роны // PCWeek. 1999. № 33. С.7-16. 5. Куцевич Н.А., Жданов А.А. Программное обеспечение систем контроля и управления и Windows-технологии // Мир компьютерной автоматизации. 1999. № 3. С. 5-14. 6. Чернобровцев А. Грядет ли «академия» Adastra // Computerworld. 2001. № 8, С.10-11. 7. Чернобровцев А. Немного о SCADA. // Computerworld. 2000, № 9. С.12-14. 8. Локотков А. GENIE 3.0: Гармония простоты и эффективности // Современные технологии автоматизации. 1998. № 3. С. 62-68. 9. Золотарев С. Интегрированные пакеты АСУ ТП в ОС QNX. // Современные технологии автоматизации. 1996. № 1. С. 36-40. 10. SCADA-системы: проблемы выбора / В.Бунин, В.Аноприенко, А.Ильин, О.Салова, Н.Чибисова, А.Якушев // Современные технологии автоматизации. 1999. №4. С.6-14, 16-20, 22-24. 11. Локотков А. GENESIS32: нечто большее, чем просто SCADA-система // Современные технологии автоматизации, № 3, 1998. С.72-81. 12. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами / О.Н. Войтов, В.Н. Воронин, А.З. Гамм и др. Новосибирск: Наука, 1986. 205 с. 13. Побожей А., Парфенов А., Жердев О. АСУ ТП Нижневартовской ГРЭС // Современные технологии автоматизации. 1999. № 3. С.48-58. 14. Дударь З.В., Мельникова Р.В., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Отношения как объекты формульного описания // АСУ и приборы автоматики. 1998. Вып. 107. С.68-77.

Поступила в редколлегию 19.09.2002

УДК 519.6

В. М. РОНИН, Г. Ф. ДЮБКО

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ИГРОВЫХ ПРОГРАММ

Фактически все развитие человечества сопровождалось развитием игр. Игры обретали разные формы и направления, при этом они всегда оставались в центре внимания общества. По данным маркетологов игрового подразделения Microsoft, в мире насчитывается около 60 млн. людей, регулярно играющих в компьютерные игры и посвящающих этому занятию не менее 10 часов в неделю. На 98 % всех персональных компьютеров (это более 1 млрд. машин) установлена хотя бы одна игра. Рынок игр для персональных компьютеров и приставок в 2001 г. превысил \$15 млрд. Ожидается, что к 2003 г. эта цифра превысит \$20 млрд.

Изобретение компьютера привело к новому витку в развитии игр. Появилась реальная сила, которая может противостоять человеческому интеллекту. Однако даже столь сильное развитие компьютерной техники и гигантские финансовые «вливания» в игровую индустрию не создали настоящий искусственный интеллект. (На момент написания данной работы еще ни одна программа не смогла достаточное время выдержать тест Тьюринга).

По данным исследований в области проектирования игр, на разработку интеллектуальной поддержки игр уходит до 20-25 % времени от общего времени разработки, что составляет до \$3 млрд. ежегодно. Сложившаяся ситуация требует новых, более качественных и быстрых методов построения интеллектуальной поддержки в играх.

Несмотря на актуальность разработки методов построения интеллектуальной поддержки игровых программ, в данный момент написание интеллектуальных компонент фактически не автоматизировано. Только самые крупные компании могут себе позволить разработку полноценной системы написания интеллектуальных компонент. Основная же масса разработчиков вынуждена кустарным образом заниматься написанием интеллектуальной части игр, что приводит к увеличению трудозатрат на разработку игры в целом.

К положительным сторонам создания уникальных (кустарных) систем принятия решения для каждой игровой программы можно отнести их лучшую адаптацию для игры, возможность изменения и добавления новых возможностей скриптового языка. Однако за положительные качества приходится расплачиваться написанием интерпретатора скриптового языка и разработкой собственной системы представления мира.

Фактически сейчас на рынке программного обеспечения существует всего несколько десятков систем интеллектуальной поддержки игр. Одними из самых крупных являются: Klick&Play, GameFactory, GameBox, 3D Adventure Studio, FreeCraft, Shadows engine. Однако большинство этих систем поддерживает создание игр с жесткой структурой (строгие ограничения по внешнему интерфейсу, жанру игры, выбору применяемых интеллектуальных алгоритмов)[1].

Явным недостатком всех этих систем является то, что для существенного облегчения написания интеллектуального компонента игры на систему возлагаются во многом функции работы с GUI (графический интерфейс) и прочей игровой функциональностью. Это приводит к тому, что все игры созданные с помощью какой-либо системы оказываются очень похожими внешне и внутренне. Таким образом, ни одна из этих систем не может считаться в достаточной степени универсальной, чтобы быть примененной для разработки полноценных игр разных жанров. Учитывая же большую динамику рынка, устаревание таких систем происходит крайне быстро. Уже в течение двух лет вся функциональность, связанная с GUI, оказывается устаревшей вследствие быстрого развития возможностей видеокарт и дисплеев.

Основным направлением по исправлению недостатков этих систем можно считать создание специализированной системы интеллектуальной поддержки. Данная система должна отвечать за уменьшение трудоемкости создания интеллектуального компонента игры и должна как можно сильнее быть абстрагирована от неинтеллектуальных алгоритмов (GUI, работы с операционной системой и т.п.). Такая система должна быть направлена на создание интеллектуального компонента в короткие сроки параллельно с созданием остальной функциональности игры.

В интеллектуальный компонент игры фактически входит вся часть игры, ответственная за действия, осуществляемые объектами, находящимися полностью или частично под управлением компь-

ютера. К таким объектам можно отнести как видимых персонажей под управлением компьютера (unit в стратегических играх), так и невидимых персонажей (собственно управление всеми unit'ами в тех же стратегических играх). К интеллектуальной части игровой программы можно отнести систему принятия решений объектами и все остальные применяемые в игре интеллектуальные алгоритмы (такие, например, как поиск кратчайшего пути).

На данный момент большинство интеллектуальных алгоритмов четко описано и требует минимальных изменений для применения в конкретных играх. Основной же сложностью в написании игр является создание системы принятия решений.

Фактически, сейчас в каждой игре реализуется своя система принятия решений. Обычно для ее создания необходимо создание трех частей[2]:

- представление мира;
- интерпретатор скриптового языка;
- описание поведения объектов на скриптовом языке.

Под понятием мира в играх понимается описание всех объектов входящих в игру, свойств объектов, процессов изменяющих объекты.[2]

Представление мира – это метод хранения всех данных об игровом мире и содержащихся в нем объектах. На скриптовом языке описываются действия (изменение данных о мире и объектах) для всех персонажей под компьютерным управлением. Соответственно, для выполнения этих изменений необходим интерпретатор скриптового языка.

Например, представление мира в стандартной модели RPG (Role Playing Game – ролевая игра), осуществляется следующим образом:

- мир представляет собой плоскую карту, разбитую на клетки, каждая из которых может содержать объект; описание мира является фреймовым, так как зачастую существует вложенность в клетку “мини” мира;
- у каждого объекта есть определенное количество свойств (описывающих внутреннее состояние объекта) и флагов (по которым в дальнейшем будет происходить взаимодействие с другими объектами);
- функционирование игры заключается в поочередном выполнении скриптов каждого объекта.

Основной задачей создания системы интеллектуальной поддержки является упрощение и универсализация создания интеллектуальных компонент. Таким образом, система интеллектуальной поддержки призвана решать следующие вопросы:

- упрощение создания объектов, их набора свойств и флагов;
- создание единого скриптового языка, к которому будут подключаться все внешние функции объектов (связанные с GUI и другой не интеллектуальной функциональностью);
- автоматизация заполнения скриптов каждого персонажа;
- использование готового интерпретатора скриптового языка.

Учитывая то, что основная «смысловая» нагрузка в интеллектуальном компоненте игры лежит на скриптовом языке, он подлежит более детальному рассмотрению.

Фактически все скриптовые языки игровых программ можно свести к двум типам действий:

- действия по выбору объектов (**действия типа 1**);
- набор условий и действий, производимых по выполнению этих условий (**действия типа 2**).

Одним из центральных понятий предлагаемого подхода является понятие ситуации. Ситуация – это набор объектов, выбранный по определенным условиям из всего мира.[2]. Обычно ситуация рассматривается относительно объекта, для которого производится принятие решения. Шаблон ситуации – это набор условий относительно объектов выбранных в ситуации. Ситуация может подходить под шаблон ситуации, когда она удовлетворяет условиям шаблона и не подходить, когда она не удовлетворяет им.

Фактически действия типа 2 содержат, условно, левую и правую часть. Причем левая их часть отвечает за шаблон ситуации, а правая – за решение ситуации (новую ситуацию в которую должны перейти объекты ситуации). Данная система описания крайне схожа с описанием с помощью хорновских дизъюнктов, которые успешно могут быть применены для унифицированного написания таких скриптов.

Действия типа 1 предназначены для выбора из всех объектов, существующих в Runtime режиме (во время выполнения игры), объектов с определенными свойствами и подходящими под опреде-

ленные условия. Данная выборка есть не что иное, как получение части мира, т.е. текущей ситуации относительно какого-то объекта.

Дальше выбранные в действии 1 объекты преобразуются в предикаты, и с помощью действий 2 (базы знаний хорновских дизъюнктов) идет поиск решения данной игровой ситуации, путем прохождения и поиска, соответствующих шаблонам ситуаций (левых частей хорновских дизъюнктов).

Достаточно важным вопросом является способ представления и хранения базы знаний в виде хорновских дизъюнктов. Его условно можно разбить на три части:

- хранение в памяти базы знаний хорновских дизъюнктов;
- формат базы данных для хранения базы знаний;
- формат хранения хорновских дизъюнктов в базе данных.

При хранении в памяти базы знаний хорновских дизъюнктов наиболее удобно представить ее как набор пар деревьев. Пример такой пары показан на рис. 1. Каждая пара деревьев имеет левое дерево, которое содержит шаблон ситуации, и правое дерево, содержащее новую ситуацию. Левое дерево является аналогом левой части, а правое – правой части хорновского дизъюнкта. Каждая вершина дерева помечена символом функции, которая должна быть выполнена над дочерними вершинами. Корневая вершина деревьев всегда помечена символом функции дизъюнкции. В листьях дерева хранятся либо числа, либо наименования свойств объектов. Такая форма хранения в памяти дает большое удобство для редактирования дизъюнктов, так как исчезает необходимость постоянного разбора строк, содержащих хорновские дизъюнкты, и ускоряется поиск любой функции (вершины дерева).

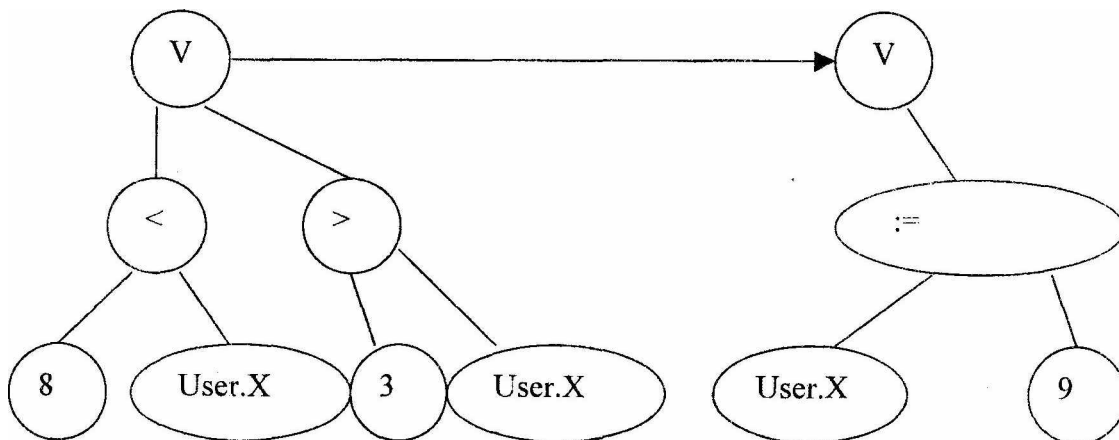


Рис. 1. Пример пары деревьев.

Также для ускорения работы системы весь набор пар деревьев должен быть разбит по поднаборам, каждый из которых помечен как относящийся к определенному типу объектов. Это сделано для того, чтобы решение ситуации можно было искать только в том множестве хорновских дизъюнктов, которые соответствуют типу объекта, для которого надо решить ситуацию.

Хранение базы знаний будет осуществляться в базе данных следующего формата:

Тип объекта	Шаблон ситуации	Новая ситуация
-------------	-----------------	----------------

Рис. 2. Формат хранения базы хорновских дизъюнктов.

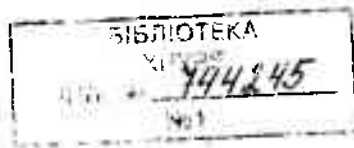
Поля базы данных, показанные на рис. 2, имеют следующий смысл.

Тип объекта – поле, по которому происходит разбиение всего набора пар деревьев на поднаборы.

Шаблон ситуации хранит левое дерево пары деревьев в паре деревьев.

Новая ситуация хранит правое дерево в паре деревьев.

Формат хранения деревьев в базе данных имеет смысл сделать зависимым от того, происходит ли сохранение их на этапе разработки интеллектуального компонента или на этапе выполнения игры.



Для этапа разработки наиболее удобна рекурсивная нисходящая форма хранения (сохраняем значение вершины, количество дуг от нее и повторяем ту же функцию, для всех дочерних вершин начиная с левой). Удобство хранения в таком виде связана с тем, что этот формат позволяет производить считывание, построение и запись дерева быстрее, что особенно важно при большом количестве работ по изменению деревьев.

В момент же выполнения игры наиболее удобной является запись деревьев в виде инверсной польской строки. Такая методика хранения позволяет за наименьшее время осуществлять проверку шаблонов ситуаций и выполнять функцию их изменения.

Таким образом, метод хранения деревьев будет варьироваться в зависимости от того, находимся ли мы на стадии разработки или выполнения.

Рассмотрев методы представления хорновских дизъюнктов и их хранения в базе данных, вернемся к построению системы интеллектуальной поддержки игровых программ.

Основной идеей построения системы интеллектуальной поддержки является методика, позволяющая сценаристу игры в кратчайшие сроки (во время разработки игры) реализовать действия, описанные переходами между блоками 1, 2, 3, 4 на рис.3, и автоматизировать выполнение переходов между блоками 4, 5, 6. [3]

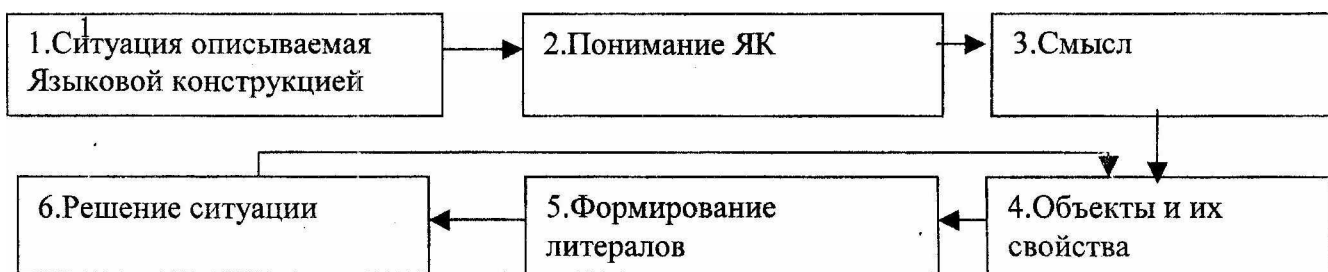


Рис. 3. Преобразование ЯК в литералы

Программная реализация системы интеллектуальной поддержки должна позволять выполнение следующих операций:

- создание нового типа объектов
  - а) создание свойств объекта,
  - б) установка типов свойств объекта;
- создание функции реагирования для каждого объекта
  - а) создание функции выборки всех объектов, находящихся в текущей ситуации относительно объекта данного типа,
  - б) создание базы знаний в виде хорновских дизъюнктов, с помощью которых должна быть решена данная ситуация;
- вынос всех многократно используемых функций;
- программный интерфейс по использованию системы принятия решений из игровой программы;
- система поиска решения в базе знаний хорновских дизъюнктов.

Как уже было сказано выше, основные операции скриптовых языков игровых программ можно свести к двум типам действий. Для реализации полноценного скриптового языка обязательны действия типа I. Для того чтобы у объекта существовал скрипт, который может взаимодействовать с другими объектами, необходимы функции работы с множеством объектов, а не с их свойствами. Простейшим примером является необходимость выбора объекта по какому-то признаку.

Таким образом, необходимо определить список действий I, необходимых для реализации скриптового языка. Фактически – это три типа действий: подсчет объектов, выбор из множества объектов одного и выполнение действия над множеством объектов. Ниже приведены примеры формата таких функций.

*Выбор из множества объектов:*

GetObjectCount (функция, по которой производится выбор) – получить число объектов, которые подходят под функцию отбора;

GetObject (ObjectType, условие фильтрации, условие выбора, максимизация) as НовоеИмя – отбор объектов.

*Действия над множеством объектов:*

DoWith (Тип объектов, условия фильтрации, функция изменений) – выполнить действие над всеми объектами, подходящими под заданное условие.

Для создания более удобной и понятной системы написания интеллектуальных компонент можно применить описанные ниже методы повышения эффективности работы.

Для построения базы знаний на хорновских дизъюнктах необходимо определить редактируемый набор функций, которые могут производить действия над объектами. Данные функций можно назвать вынесенными относительно базы знаний. Это даст возможность, единожды разработав какую-то функцию работы над объектами, применять ее ко всем объектам такого же класса.

Для облегчения описания объектов и их взаимодействия в скриптовом языке необходимо применить методику наследования, что увеличит возможность повторного использования созданных скриптов.

Относительно наследования следует заметить, что любой объект А, у которого есть все свойства объекта В и типы свойств совпадают, можно считать наследником объекта В. Это применяется для более широкого использования вынесенных функций.

Система наследования позволит также создать иерархию объектов и репозиторий объектов, который ускорит и сделает более наглядным процесс описания понятий мира. Пример простейшей иерархии объектов показан на рис. 4

В заключение приведем тестовый пример реализации игры «Салочки» (аналог Action Game).

1. Есть N игроков, каждый из которых обладает координатами и скоростными параметрами.

2. Один из них имеет флаг, который при близости координат он автоматически передает другому

3. Цель имеющего флаг – за кратчайшее время отдать его.

4. Цель игроков, не имеющих флага – максимальное время его не получать.

Поле 100x100 – за границы поля далеко выбегать нельзя. Под словом «далеко» подразумевается, то, что если игрок выбежал за поле, то, как только он получит квант времени и должен будет сделать свое действие, он обязан вбежать в поле, даже если это ему грозит «осаливанием».

GamePlayer = object (Positioned.Object)

V – максимальная скорость

M – масса (от нее зависит инерция – нельзя повернуть сразу)

XТ, YТ -- куда бежим

V – с какой скоростью.

S – флаг

End

**Функции – Бежать к X0, Y0 со скоростью V**

**События - новый раунд, пересекся с другим игроком, осален.**

**Функция отбора:**

GetObject(GamePlayer, S, 0,0) as Saled

GetObject(GamePlayer, NOT(S), (CurrentObject.X – TempObject.X)\*

(CurrentObject.X – TempObject.X)– (CurrentObject.X – TempObject.X)\*

(CurrentObject.X – TempObject.X), 0) as Near

**Функция реагирования:**

S -> MoveTo(Near.X, NearY, V)

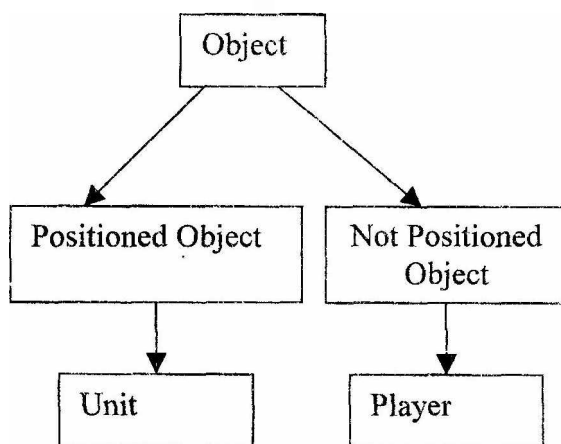


Рис 4. Пример иерархии классов

NOT(S) -> MoveTo( 2\*X-Saled.X, 2\*Y-Saled.Y)  
(X < 0) V (X > 100)-> MoveTo(50, Y)  
(Y < 0) V (Y > 100) -> MoveTo(X, 50)

В примере функции реагирования специально не сделано окончательное преобразование к литералам, для более легкого понимания.

В приведенной функции реагирования в решение включены только две характеристики, влияющие на поведение – осаленность игрока, для которого выполняется функция реагирования, и размеры поля.

Если игрок осален, то он движется с максимальной скоростью к ближайшему. Если игрок не осален, то он движется от осаленного. Если он выбежал за пределы поля – то он бежит к середине поля.

Так как поиск оптимальных интеллектуальных алгоритмов находится вне рамок данной статьи, то в функции реагирования были опущены все характеристики (скорость игроков, осаленного, их инерция и т.п.), которые влияют только на конкретное наполнение базы знаний, но не влияют на ее структуру.

Таким образом, проблема построения системы интеллектуальной поддержки сводится к написанию системы преобразования объектов в литералы и поиску решения в базе знаний хорновских дизъюнктов. Задача о преобразовании объектов в литералы является типичной трансляционной задачей. И система поиска решения в базе данных и трансляционная задача являются достаточно известными и имеют множество программных решений, которые могут быть применены для реализации системы интеллектуальной поддержки.

**Список литературы:** 1. Зельцман М. Компьютерные игры: Как это делается. М.: Русская Редакция, 2000, 544 с. 2. Эхерн Л. Создание компьютерных игр без программирования. М.: ДМК Пресс, 2001, 304 с. 3. *Компьютер обретает разум* / Под ред. В.Л. Стефанова. М.: Мир, 1990.

*Поступила в редколлегию 13.07.2002*

УДК 519.685

Н. Н. БУСЛИК, Д. А. ЛЕТУЧИЙ

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРЕДИКАТИВНОГО  
СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА

Различают два подхода к анализу предложений формальных языков: восходящий и нисходящий. При восходящем анализе сентенциальная форма с помощью левых частей продукций грамматики языка сворачивается к начальному символу. Напротив, нисходящий анализ строит вывод предложения исходя из начального символа грамматики с использованием правых частей продукций. Одна из разновидностей нисходящего анализа – метод рекурсивного спуска. В этом методе каждому нетерминалу сопоставляется процедура; последовательность вызываемых процедур неявно задает синтаксическое дерево разбора. Если сканируемый символ однозначно определяет выбор процедуры нетерминала, то имеет место специальный вид метода рекурсивного спуска – предикативный анализ (от англ. predict – предсказывать; здесь употребляется в том смысле, что каждый сканируемый символ однозначно определяет продукцию, т.е. “предсказывает” остальные символы цепочки). Предикативный анализ позволяет производить разбор без возвратов, так как выбранная альтернатива продукции не изменяется, а индикатор текущей позиции цепочки никогда не уменьшает свое значение. Класс языков, предложения которых поддаются разбору без возвратов, задается так называемыми LL(1) грамматиками.

Продукции LL(1) грамматики не содержат левой рекурсии. В правилах вида  $A \rightarrow \beta_1 | \beta_2 | \dots | \beta_n$ , множества символов, с которых могут начинаться  $\beta_i$ , –  $FIRST(\beta_i)$  – удовлетворяют условию  $\cap_i FIRST(\beta_i) = \emptyset$ ,  $i = 1..n$ . В правых частях продукций могут встречаться пустые строки  $\epsilon$ . Например,  $A \rightarrow \beta_1 | \beta_2 | \dots | \beta_n | \epsilon$ . В этом случае для LL(1) грамматик должно выполняться  $FOLLOW(A) \cap_i FIRST(\beta_i) = \emptyset$ ,  $i = 1..n$ , где  $FOLLOW(A)$  – множество символов, которые могут следовать за A. Некоторые грамматики произвольного вида можно привести к LL(1) грамматикам с помощью процедуры левой факторизации (различимые части альтернатив продукции выделяются в отдельную продукцию, например,  $A \rightarrow a\beta_1 | ab\beta_2 \Rightarrow A \rightarrow a[\beta_1, b\beta_2] \Rightarrow A \rightarrow aB$ ;  $B \rightarrow \beta_1 | b\beta_2$ ). Непосредственную левую рекурсию из правил вида  $A \rightarrow A \alpha | \beta$  можно исключить, если ввести дополнительное правило:  $A \rightarrow \beta A'$ ;  $A' \rightarrow \alpha A' | \epsilon$ . Немного сложнее избавиться от рекурсии, создаваемой косвенно несколькими правилами (описание алгоритма можно найти в [1]).

Пусть задана некоторая LL(1) грамматика G. Наша задача показать, что предикативный синтаксический анализатор может быть эффективно реализован с помощью парадигмы объектно-ориентированного программирования. Предположим, что правила G можно разбить на две группы: рекурсивные и нерекурсивные. Например, к первой группе можно отнести два правила

$$\begin{aligned} E &\rightarrow idE' \\ E' &\rightarrow +idE' | \epsilon, \end{aligned}$$

определяющие алгебраические выражения с операцией сложения. Вторая группа служит для описания вложенных иерархических конструкций языка. Например, программа языка логического программирования состоит из правил, правила из предикатов, предикаты содержат аргументы. Отметим, что более сложными для разбора методами нисходящего анализа являются конструкции, описываемые рекурсивными правилами. Поэтому основное внимание уделим разбору такого рода конструкций на примере арифметических выражений. Однако вначале опишем общую методику выделения объектов для синтаксического анализа.

Для процедурного описания синтаксического анализа будем использовать схему трансляции. Схема трансляции определяет не только формальный язык, но и правила отображения предложений языка в промежуточный код. Среди языков промежуточных представлений различают синтаксические деревья, постфиксную запись и трехадресный код. В дальнейшем будем рассматривать создание промежуточного представления на основе одной из разновидностей трехадресного кода, а именно триад [1].

Для каждого нетерминала G создадим дочерний класс одному из двух базовых классов CCommonObject или CCommonObjects согласно следующему правилу: если нетерминал представляет собой отдельный токен, то он наследуется от CCommonObject, иначе – от CCommonObjects. Иными слова-

ми, если нетерминал встречается только в правых частях продукций, то он будет дочерним классом CCommonObject. На рис. 1 показана иерархия классов для грамматики  $E \rightarrow idE'$ ;  $E' \rightarrow +id E' | \epsilon$ .

Правила LL(1) грамматики описывают естественную иерархическую структуру языковых конструкций. Класс CCommonObjects содержит список экземпляров CCommonObject; при разборе нетерминалу левой части продукции ставится в соответствие экземпляр его класса (он будет дочерним классом CCommonObjects), а все нетерминалы правой части образуют список экземпляров CCommonObject. Так как CCommonObjects наследуется от CCommonObject, фактически (согласно правилу преобразования указателей базовых классов на указатели дочерних классов [2]) в список могут войти экземпляры CCommonObjects. Поэтому список в CCommonObjects представляет собой нелинейную структуру – дерево, где каждый элемент списка есть либо вершина вырожденного поддерева (экземпляр CCommonObject), либо вершина поддерева с более чем одним потомком (экземпляр CCommonObjects).

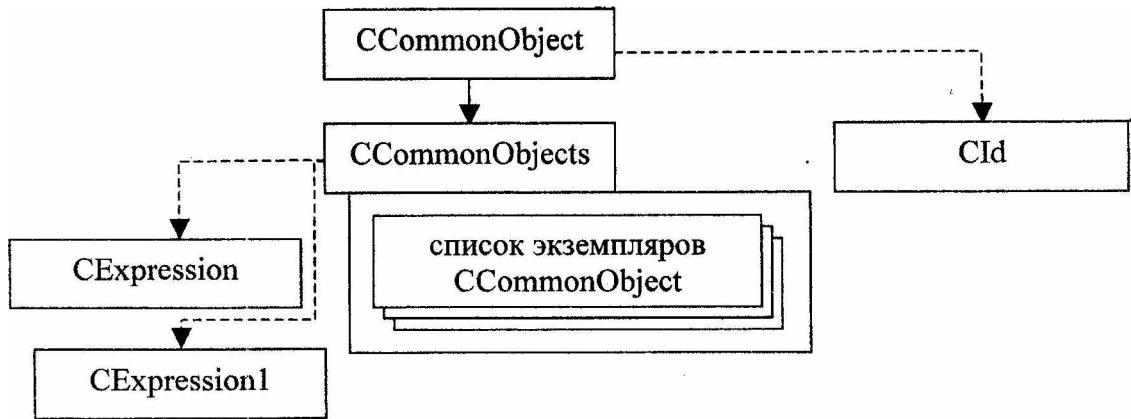


Рис. 1. Определение классов грамматики  $E \rightarrow idE'$ ;  $E' \rightarrow +id E' | \epsilon$ .

В качестве примера рассмотрим разбор цепочки  $4 + 3$ :  $E \Rightarrow idE' \Rightarrow id + id$ . Для воспроизведения структуры объектов этой цепочки воспользуемся схемой трансляции:

$E \rightarrow \{ new CExpression; new CId \} idE'$ ;  
 $E' \rightarrow \{ new CExpression1 \} + \{ new CId \} id E' | \{ delete CExpression1; delete CId \} \epsilon$ .

В фигурных скобках указаны действия, которые должен сделать синтаксический анализатор для получения промежуточного представления входной цепочки. Работу синтаксического анализатора удобно моделировать с помощью стека объектов S. Команда *new* <имя класса> создает экземпляр класса с параметрами-атрибутами и заносит его в стек. Команда *delete* <имя класса> - удаляет экземпляр указанного класса из оперативной памяти и из стека, если он находится на вершине стека. Каждый класс имеет набор параметров, соответствующих синтаксической природе нетерминала. Для рассматриваемой грамматики CId имеет в качестве параметра строку символов, обозначающих лексему числа (атрибут токена *id*). Класс CExpression не имеет параметров. Для цепочки  $4 + 3$  на рис. 2 показано расширенное синтаксическое дерево разбора согласно приведенной схеме трансляции. Здесь SExprг является сокращением для CExpression, SExpr1 – для CExpression1. Пунктирной линией показана связь узлов синтаксического дерева разбора с семантическими действиями создания промежуточного кода.

После окончания разбора стек S будет содержать 4 объекта. На рис. 3 показано заполнение и окончательная конфигурация стека.

Некоторые языки программирования позволяют переопределять значение операторов для пользовательских типов [2]. Воспользуемся языковыми средствами C++: переопределим оператор сложения для CCommonObject и CCommonObjects. Согласно иерархии классов эта функция будет виртуальной в CCommonObject, и в CCommonObjects она перекроется. Пусть В – буфер для хранения экземпляров CCommonObject. Для любых двух экземпляров Obj1, Obj2 выражение Obj1 + Obj2 будет означать запись Obj2 в В если Obj1 является экземпляром класса CCommonObject и Obj2 в В еще нет, или вставку Obj2 в список Obj1, если Obj1 – объект CCommonObjects и Obj2 в списке отсутствует.

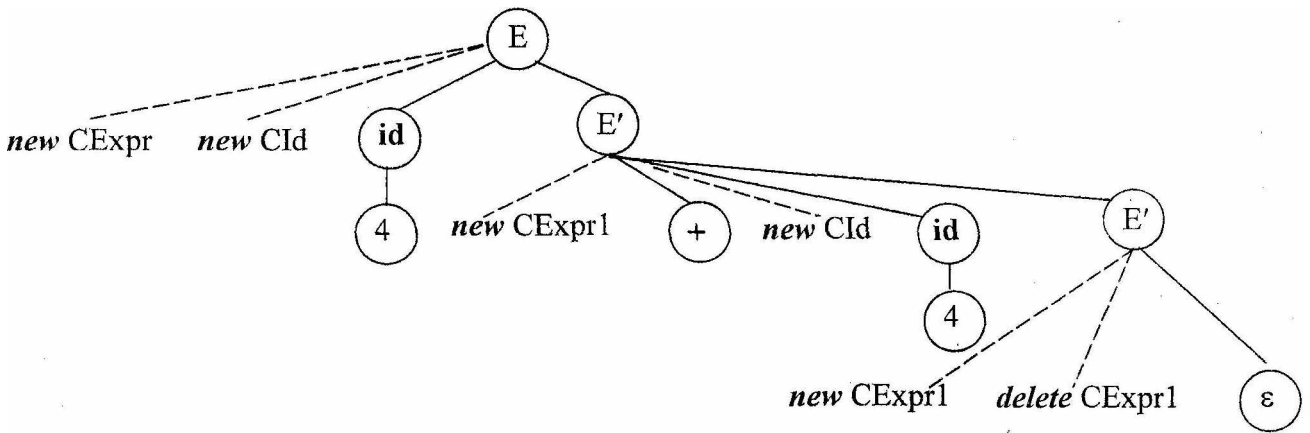


Рис. 2. Дерево трансляции для цепочки 4 + 3.

Результатом операции будет первый операнд. Свернем S согласно процедуре, псевдокод которой показан на рис. 4. Пусть *pop* <Obj1> - функция извлечения объекта Obj1 из вершины стека, а *push* <Obj1> - функция, которая помещает Obj1 в стек. До тех пор, пока стек не пуст, из него будут извлекаться каждый раз по два элемента и складываться согласно переопределенной операции сложения для объектов. Результат сложения объектов заносится в стек. Назовем эту процедуру *rollup*. На рис. 4 *sizeof* B - длина (количество элементов) буфера B, B[i] - i-й элемент B, *purge* B - очистка буфера.



S	Выход
	E
CExpression CId	idE'
CExpression1 CId	id + id

Рис. 3. Конфигурация стека.

```

repeat
  pop Obj2
  pop Obj1
  for i := 1 to sizeof B do
    Obj1 + B[i]
  purge B
  push Obj1 + Obj2
until S = ∅
    
```

Рис. 4. Псевдокод процедуры свертки стека

В процедуре свертки мы неявно используем тот факт, что в стеке не могут оказаться рядом экземпляры класса *CCommonObject*. Поэтому очистка буфера происходит каждый раз после попытки записать объекты в список класса нетерминала. Если попытка успешна, то буфер очищается; в противном случае он был уже очищен на предыдущей итерации. По окончании работы процедуры список объекта *CExpression* будет состоять из двух элементов: *CId* и *CExpression1*. В свою очередь список *CExpression1* включает *CId*. Зависимость включения объектов определяет семантику выражения.

Нетрудно видеть, что промежуточный код представлен в виде синтаксического дерева. Для произвольных арифметических выражений, включающих операторы различных приоритетов, организация синтаксического дерева должна быть изменена, чтобы учесть порядок операторов.

Введем ограничение на длину списка объектов в *CCommonObjects*: количество элементов в списке не должно быть более двух. Кроме того, к каждому классу нетерминала (потомка от *CCommonObjects*) присоединим символьное поле - значение оператора. Иными словами, выберем в качестве атрибута нетерминалов E, E' крайний слева оператор. Например, в левом порождении  $E \Rightarrow idE' \Rightarrow id + id$  оператор "+" будет атрибутом E и E'. Доопределим оператор сложения в *CCommonObjects* таким образом, чтобы его можно было применять к символьным данным. Если в операции сложения в правой части встречается символьная строка, то значение поля оператора устанавливается равным этой строке в том случае, если символьная строка есть оператор. Например, пусть Obj1 - объект класса *CCommonObjects*. Тогда инструкция *Obj1 + "+"* запишет "+" в поле оператора, а инструкция *Obj1 + "4"* будет проигнорирована. Структура класса с введенными ограничениями соответствует триаде. Назовем этот класс *CTriad*; схематически данные класса будем обозначать

тройкой (<оператор>, <операнд1>, <операнд2>). Естественно, в качестве операндов могут выступать указатели на другие триады.

Вычисление триад определяется рекурсивно: найти значения операндов и применить оператор к этим значениям. Если операнд является триадой, то его значение – результат вычисления триады. Иначе значение операнда – сам операнд. Например, выражение  $4 + 3 * 2$  можно представить в виде двух триад (+, 4, (\*, 3, 2)). Выражения с одним оператором (например, задаваемые нашей грамматикой) разбиваются на триады тривиально. Если же грамматика содержит множество операторов, то возникает задача правильного выделения триад. Так, даже в простом примере  $4 + 3 * 2$  возможно неправильное определение триады – (\*, (+, 4, 3), 2)). Рассмотрим грамматику, задающую арифметические выражения.

E	→	T E1
E1	→	E2   ε
E2	→	+ E
T	→	M T1
T1	→	T2   ε
T2	→	* T
M	→	S M1
M1	→	M2   ε
M2	→	^ M
S	→	id   (E)

Для простоты и без потери общности мы не включали в грамматику операторы с одинаковыми приоритетами. Очевидно, эта грамматика определяет естественный приоритет арифметических операций. Так, например, каждая сумма может содержать в качестве слагаемых произведение идентификаторов или степеней. Поставим каждому нетерминалу в соответствие класс CTriad. Это означает, что правила грамматики, расширяются выражениями {new CTriad} перед первым символом грамматики левой части каждого из правил и выражениями {delete CTriad} перед ε.

Пусть Obj1, Obj2 – объекты класса CTriad, Id – объект класса CId. Определим операцию Obj1 + Obj2 в зависимости от их конфигураций (состояний). Начальная конфигурация триад - (x, x, x), где символ x обозначает пустую ячейку. Если строка S является оператором, то Obj1 + S переведет Obj1 из состояния (x, x, x) в состояние (S, x, x). Операция Obj1 + Id запишет значение лексемы идентификатора в левый операнд триады: (x, x, x) ⇒<sub>+CId</sub>(x, Id.id, x), где Id.id – поле идентификатора. Скобки при разборе опускаются.

Сложение (или иначе слияние) триад будем проводить согласно следующей процедуре. Если Obj2 представляет неполную триаду, то ее поля переписываются в Obj1, и Obj2 удаляется из памяти, иначе указатель на Obj2 заносится в пустую ячейку триады Obj1. Если Obj1 не имеет пустых ячеек, то создается новая триада Obj3 с левым операндом Obj1, правым операндом Obj2 и оператором из Obj2. Заметим, что в последнем случае Obj2 будет иметь в точности один операнд. Изменим процедуру свертки стека таким образом, чтобы избавиться от использования буфера В. Допустим, в определенный момент лексический анализатор выделит из цепочки символов идентификатор, передал его лексему на вход синтаксическому анализатору, который создал соответствующий объект Id класса CId. Вместо того, чтобы помещать в стек Id, поместим туда результат сложения *pop* <Obj> + Id. Таким образом, S будет содержать только экземпляры CTriad. Кроме того, каждый раз, когда индикатор текущей указывает на символ оператора op, синтаксический анализатор должен выполнить *pop* <Obj> + op и занести результат в стек.

Рассмотрим разбор выражения  $3 * 4 + 2$ :  $E \rightarrow T E1 \rightarrow M T1 E1 \rightarrow S M1 T1 E1 \xrightarrow{M1 \rightarrow \epsilon} id T1 E1 \rightarrow id T2 E1 \rightarrow id * T E1 \rightarrow id * M T1 E1 \rightarrow id * S M1 T1 E1 \xrightarrow{M1 \rightarrow \epsilon} id * id T1 E1 \rightarrow_{T1 \rightarrow \epsilon} id * id E1 \rightarrow id * id E2 \rightarrow id * id + E \rightarrow id * id + T E1 \rightarrow id * id + M T1 E1 \rightarrow id * id + S M1 T1 E1 \rightarrow id * id + id M1 T1 E1 \xrightarrow{M1 \rightarrow \epsilon} T1 \rightarrow \epsilon E1 \rightarrow \epsilon id * id + id$ . Для наглядности каждый следующий раскрываемый нетерминал подчеркнут. На рис. 5 показана упрощенная схема разбора выражения  $3 * 4 + 2$ .

Согласно схеме трансляции перед раскрытием нетерминала будем помещать экземпляр CTriad в стек S. На рис. 5 в колонке S<sub>i</sub> каждая триада помечена нетерминалом. Для каждой сентенциальной формы вида abAy →<sub>A→e</sub> aby, полученной продукцией A→e, свернем стек согласно процедуре **rollup**. В ходе разбора выражения стек имел пять различных конфигураций. При этом конфигурации стека с единственным элементом (например, строка 11) не учитывались. Номер конфигурации стека указан в колонке i. Символ “\_” в последней колонке означает повтор предыдущего действия. После процедуры **rollup** в стек заносится последний результат операции сложения.

Нетрудно видеть, что по окончании разбора цепочки будет выделено две триады и останется два экземпляра CTriad, которые отображают конфигурацию (+, id, (\*, id, id)). Первая триада содержит указатель на экземпляр Cld (левый операнд) и указатель на вторую триаду (правый операнд). Вторая триада содержит два указателя на CTriad.

Предложенный подход к организации предикативного синтаксического анализатора позволяет совместить простоту нисходящих методов с задачей разбора арифметических выражений. Кроме того, на практике часто спецификация нового языка дорабатывается уже после того, как началась работа по реализации анализатора. Поэтому вопрос о сложности изменения грамматики языка стоит не на последнем месте. В нашем подходе модификация правил грамматики приводит к появлению (удалению) классов для нетерминалов, либо к переопределению операции сложения для объектов. Однако изменения правил грамматики не затрагивают процедуру разбора.

В работе [3] описан общий алгоритм нисходящего разбора. Этот алгоритм управляется таблицей специального вида, построенной по правилам LL(1) грамматики. Предиктивный синтаксический анализатор, управляемый такой таблицей, был применен для разработки языка ледуктивных баз данных DLQ [4].

**Список литературы:** 1. Ахо А. Сети Р. Ульман Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструменты. М.: “Вильямс”, 2001. 768 с. 2. Элис М. Строуструн Б. Справочное руководство по языку программирования C++ с комментариями. М.: Мир, 1991. 3. Кнут Д. Нисходящий синтаксический анализ // Кибернетический сборник. М.: Мир, 1978, №15. 4. Буслик Н. Н., Летучий Д. А. Об одном расширении вычислительной парадигмы Дейталога // Радиоэлектроника и молодежь в XXI в.: Сб. науч. трудов. Харьков. 2001. Ч. 1. С. 432-433.

	№	S	Вход	Действие
1	1		E	
	2	(x, x, x) <sub>E</sub>	T E1	new CTriad
	3	(x, x, x) <sub>T</sub>	M T1 E1	
	4	(x, x, x) <sub>M</sub>	S M1 T1 E1	
2	5	(x, id, x)	Id T1 E1	rollup
	6	(x, x, x) <sub>T1</sub>	Id T2 E1	new CTriad
	7	(* , x, x) <sub>T2</sub>	Id * T E1	
	8	(x, x, x) <sub>T</sub>	Id * M T1 E1	
	9	(x, x, x) <sub>M</sub>	Id * S M1 T1 E1	
3	10	(* , id, x)	Id * id T1 E1	rollup
	11	(* , id, id)	id * id E1	
4	12	(x, x, x) <sub>E1</sub>	id * id E2	new CTriad
	13	(+ , x, x) <sub>E2</sub>	id * id + E	
	14	(x, x, x) <sub>E</sub>	id * id + T E1	
	15	(x, x, x) <sub>T</sub>	id * id + M T1 E1	
	16	(x, x, x) <sub>M</sub>	id * id + S M1 T1 E1	
	17	(x, id, x) <sub>S</sub>	id * id + id M1 T1 E1	
5	18	(+ , id, x)	id * id + id T1 E1	rollup
	19	(+ , id, (* , id, id))	id * id + id	rollup

Рис. 5. Схема разбора цепочки 3 \* 4 + 2.

Поступила в редколлегию 30.08.2002

И. Б. СИРОДЖА

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ****Введение**

На современном этапе автоматизации производства, базирующейся на применении новых ЭВМ, микропроцессорной техники, искусственного интеллекта и телекоммуникационных систем, остро встали проблемы непосредственного использования и переработки знаний как информационного ресурса [1,2]. Последний стал основным ресурсом человечества, главной ценностью современной цивилизации. Новым мощным средством использования и превращения знаний в информационный ресурс оказались стремительно развивающиеся информационные технологии (ИТ). Установлено, что эффективность информационных технологий определяется интеллектуальным совершенством компьютеров, степенью их включения в процессы мыслительной деятельности человека и возрастает с переходом от машинной обработки данных к обработке знаний [2, 5]. Базы знаний и современные экспертные системы (ЭС) стали элементами эффективных интеллектуальных ИТ третьего поколения, где человек с его творческими возможностями органически включен в компьютеризованную систему использования, переработки и накопления информационного ресурса [1-7].

В настоящей работе изложены обоснование и теоретические основы построения знаниеориентированной информационной технологии интеллектуальной поддержки принятия технологических решений в машиностроении на базе использования предложенных квантовых средств инженерии знаний, в частности, метода вероятных алгоритмических квантов знаний (ВАКЗ-метод [7]). Кроме того, предложены архитектура и функциональная схема интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) «КВАНТ» при технологической подготовке производства машиностроительных деталей путем механообработки, аргонодуговой наплавки, листовой и объемной штамповки с компьютерной генерацией соответствующей технической документации. ИСППР «КВАНТ» разрабатывается под руководством автора на кафедре Программного обеспечения компьютерных систем Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» в рамках государственной темы «Методологические основы синтеза перспективных конструкций летательных аппаратов на базе современных технологий и материалов» Министерства образования и науки Украины, выполняемой совместно коллективами ряда кафедр под научным руководством ректора университета профессора Кривцова В.С.

В основе разработки лежит CAPE-концепция (Concurrent Art-to-Product Environment), суть которой состоит в построении единой электронной среды создания изделия от идеи до реализации путем интеграции систем автоматизированного проектирования (САПР), технологической подготовки производства (АСТПП) и управления (АСУ) с использованием знаниеориентированных информационных технологий. Благодаря единой информационной среде, системности, модульности и гибкости, интегрированные компьютерные системы САПР / АСТПП / АСУ / ИСППР позволяют принципиально изменить технологию проектирования и производства изделий, существенно сократить сроки их изготовления, снизить затраты на весь жизненный цикл изделий, повысить их качество и обеспечить жизнеспособность предприятия в условиях жесткой рыночной конкуренции за счет: повышения точности изготовления изделий и обеспечения взаимозаменяемости процессов, возможности создавать оснастку до полного окончания проектирования, исключения промежуточных носителей геометрии и ручной доводки, а также использования средств искусственной интеллектуализации процесса принятия решений. Особая роль здесь отводится интеллектуальным ИТ, призванным помогать конструктору и технологу принимать решения в условиях многокритериальности выбора и неопределенностей, обусловленных неполнотой и нечеткостью данных, преобладанием качественных характеристик производственных ситуаций, недостаточной логической и вероятностной определенностью последствий принимаемых решений. Подобные проблемы по определению Г.Саймона [3] называются слабоструктурированными либо плохо формализуемыми, для решения которых человеческая интуиция имеет особую важность.

Акцентируемая в данной работе задача автоматизации проектирования технологических процессов является типичным примером плохо формализованной проблемы принятия технологических

решений, где не известны надежные количественные модели и закономерности, описывающие связь конкретной производственной ситуации с соответствующим принимаемым решением, и где лишь интуиция, опыт и умение технолога-эксперта позволяют найти приемлемое решение. Догадки знающего технолога в своей области, основанные на его прошлом опыте, на «чутье», на явных и неявных знаниях, позволяют ему решать плохо формализованные задачи, как известно, на удивительно хорошем уровне. Именно этот факт побудил нас реализовать в работе заманчивую цель – запечатлеть умение технолога в искусственной базе знаний передать это умение компьютеру. Выражаясь научными терминами, мы пришли к необходимости разработки ИСППР «КВАНТ» как интеллектуальной ИТ для автоматизации принятия технологических решений путем имитации умений технолога (в начале на примере заготовительно-штамповочного производства) в рамках указанной САРЕ-концепции создания интегрированной компьютерной САПР / АСТПП / АСУ / ИСППР – системы.

### **1. Постановка задачи**

Эффективность современного машиностроительного производства определяется в основном качеством и оперативностью принятия решений в процессах технологической подготовки и управления производством, что непосредственно зависит от эффективности использования существующих технологических знаний. Развитие производства и технологической науки привело и приводит к накоплению значительного объема знаний (информационного ресурса), сосредоточенных в обширной литературе, проектах и технической документации. Однако эффективность использования этих знаний в традиционных автоматизированных системах технологической подготовки производства (ТПП) крайне низкая из-за не совершенности современных форм представления, хранения и обработки знаний средствами компьютерной техники. Поэтому на общем содержательном уровне задача состоит в разработке обоснованной методики интеллектуальной (знаниеориентированной) поддержки принятия технологических решений, соответствующей алгоритмизации и в создании программного обеспечения (ПО) новой информационной технологии в виде ИСППР «КВАНТ», исходя из результатов экспертного анализа конкретной предметной области и руководствуясь теоретическими положениями метода вероятных алгоритмических квантов знаний (ВАКЗ-метод) [7].

Обоснование синтезируемой методики интеллектуальной поддержки принятия технологических решений (ИППТР) мотивируется общими правилами проектирования и содержанием основных этапов разработки технологических процессов-аналогов, типовых, групповых, индивидуальных технологических процессов конкретного производства, а также результатами экспертного анализа производства с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Собственно разработка методики ИППТР базируется на результатах изучения правил и закономерностей организации технологических процессов, а также на выявление факторов и параметров, от которых существенно зависит интенсификация производства и повышение качества изделий. При этом синтез указанной методики предлагается реализовывать на основе следующих принципов:

- эвристической декомпозиции технологических задач на **формализованные и плохо формализованные** с выделением сценариев творческих действий технолога;
- алгоритмической имитации причинно-следственного вывода решений, опираясь на предварительно синтезируемую базу знаний (БЗ);
- построение БЗ путем обучения на сценарных примерах технологических ситуаций и таблицах эмпирических данных.

Алгоритмизация способа обучения синтезируемой БЗ на сценарных примерах обучающих знаний (СПОЗ) и процессов принятия технологических решений выполняется согласно методике ИППТР средствами инженерии знаний, которыми располагает ВАКЗ – метод [7].

Разработка соответствующего программного обеспечения ИСППР «КВАНТ» осуществляется путем реализации синтезированных алгоритмов на ПЭВМ класса «Pentium» средствами объектно-ориентированного программирования.

В целом общая задача сводится к необходимости решения системы трудоемких взаимосвязанных научно-технических задач: синтеза методики ИППТР в конкретной предметной области; построения квантовых моделей представления знаний и методов алгоритмического манипулирования ими; разработки способов приобретения и извлечения технологических знаний, алгоритмов обучения на СПОЗ и синтеза базы квантов знаний (БкЗ), а также операторов логического причинно-следственного вывода принимаемых решений посредством БкЗ, архитектуры и функциональной схемы ИСППР «КВАНТ» с соответствующим программным обеспечением.

## 2. Синтез методики интеллектуальной поддержки принятия технологических решений (ИППТР)

В основе синтеза методики ИППТР лежит использование, как правило, эвристических традиционных методов проектирования технологических процессов, базирующихся на интуиции и опыте технолога с учетом справочно-нормативных материалов. По существу методика носит характер рекомендаций со сложными логическими взаимосвязями между действиями технолога на всех этапах его деятельности, связанных с поиском информации, стандартными расчетами, логическими рассуждениями и принятием решений с оформлением технологической документации.

Синтез методики ИППТР является сложным, трудоемким творческим процессом выработки правил, рекомендаций и действий по организации типовых, групповых, единичных технологических процессов и операций-аналогов, а также индивидуального проектирования, которое осуществляется при отсутствии типового или группового, или технологического процесса-аналога. Особую трудность при этом составляют представление детали как комплекса взаимосвязанных элементов и поверхностей, определение технологических процессов обработки каждой поверхности, а затем формирование на их основе операций с указанием их очередности и соблюдением стандартов Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). При формировании технологических операций и их последовательности на различных этапах необходимо учесть влияние большого числа факторов, например, технологические возможности применяемого оборудования и оснастки, форма и размеры детали, величина партии выпускаемых деталей и т.п., что вызывает разделение синтеза технологического маршрута на ряд задач, дифференцировано учитывающих указанные факторы. Иными словами, реализация построения методики ИППТР осуществляется путем выполнения следующих действий:

1) проведение целевого экспертного анализа конкретной предметной производственной области с целью формирования входной информации (конструкторская документация на изделие: чертежи, технические условия, плановое задание на изготовление), а также соответствующих правил, критериев, сценариев и действий технолога;

2) соблюдение принципов синтеза методики, указанных в постановке задачи (см. п.1);

3) использование теоретических и конструктивных положений метода разногиппных алгоритмических квантов знаний (РАКЗ – метод) [6, 7] для решения поставленной в работе задачи, кратко изложенных ниже.

## 3. Общая методика квантового моделирования знаний и решения поставленной задачи

Рассматривается плохо формализуемая проблема принятия классификационных и прогнозных технологических решений в условиях неопределенностей, связанных с неполными, нечеткими, вероятностными данными, а также с невозможностью представления объектов принятия решений (ОПР) числовыми и функциональными описаниями.

Опираясь на ранее опубликованные теоретические и практические результаты [6,7], авторами в работе освещается обобщенный подход к построению квантовых знаниеориентированных методов индуктивного моделирования процессов принятия решений в различных условиях неопределенности. Подход основан на введенных разноуровневых относительно структурной сложности алгоритмических квантах знаний (РАКЗ) в виде формализованных порций информации с указанным смыслом (семантикой). Например, число или числовой кортеж описывается квантом знаний 0-го уровня; вектор или функция – квантом 1-го уровня; матрица или композиция функций – квантом 2-го уровня и т.д. Квантование информации о внешнем мире осуществляется автоматически. При этом в отличие от существующих подходов появилась возможность создания эффективных РАКЗ-моделей и РАКЗ-методов представления и компьютерного манипулирования квантами знаний (к-знаниями) в строго формализованном классе алгоритмических квантовых структур информации разноуровневой сложности. Квантовая структуризация знаний обеспечивает возможность разработки проблемно-ориентированных РАКЗ-методов принятия решений в различных условиях неопределенности, используя точные (**t-кванты**), нечеткие (**π-кванты**) или вероятностные (**v-кванты**) к-знаний. РАКЗ-методы позволяют эффективным искусственным способом реализовать индуктивно-дедуктивный принцип естественного интеллекта – принцип причинно-следственного вывода решений, опираясь на базу знаний. Этот способ состоит в том, что средствами теории конечных предикатов, простых машинных алгебр и векторно-матричных операторов на основании выборочных обучающих знаний индуктивно строится база квантов знаний (**БкЗ**) для данной предметной области в форме **системы им-**

пликативных и (или) функциональных закономерностей [6], а затем, опираясь на БкЗ, дедуктивно выводятся искомые решения-кванты по фактам наблюдений.

Сформулируем на содержательном уровне три базовых задачи знаниеориентированного принятия технологических решений:

- 1) **формализация разноуровневых квантов знаний (к-знаний) и их алгоритмическое конструирование (А-задача);**
- 2) **идентификация (узнавание) ситуаций, описанных к-знаниями (В-задача);**
- 3) **прогнозирование ситуаций средствами манипулирования формализованными к-знаниями (С-задача).**

Под ситуацией будем понимать формальную квантовую модель представления технологических ОПР, которая описывает его состояние на заданном уровне квантования знаний при условиях  $\alpha$ -,  $\lambda$ -неопределенности [7].

Следовательно, в А-задаче необходимо формально определить с учетом вида неопределенности понятие «разноуровневые знания» посредством алгоритмически структурированного представления разнотипных данных об ОПР, их категориях и сведениях о предметной области в форме РАКЗ.

**В-задача** заключается в синтезе РАКЗ-моделей и узнающих алгоритмов манипулирования к-знаниями для определения значения целевой характеристики идентифицируемого ОПР с заданной надежностью по предварительно накопленной БкЗ и внешним наблюдениям. Под целевой характеристикой ОПР будем понимать классифицирующий признак либо комбинацию таких признаков (параметров идентификации), соответствующих заданной цели. В частности при узнавании образов (ситуаций) решение принимается с целью отнесения наблюдаемого объекта к одному из определенных образов (классов), где целевым является признак класса или категории ОПР.

**С-задача** обобщает в себе, как частный случай, В-задачу и состоит в синтезе прогнозных РАКЗ-моделей и алгоритмов манипулирования к-знаниями для экстраполяции частичных наблюдений за ОПР, т.е. прогнозирования с заданной надежностью значений неизмеренных характеристик ОПР по измеренным значениям наблюдаемых характеристик, опираясь на предварительно построенную БкЗ.

Для решения сформулированных базовых А-, В-, С-задач, очевидно, требуется создать методику моделирования знаниеориентированного принятия решений на основе построения обобщенного класса  $M = \{M_t, M_\pi, M_v\}$  РАКЗ-моделей, состоящего из подклассов:

- $M_t$  – точных  $t$ -квантовых моделей ( $t$ РАКЗ-моделей);
- $M_\pi$  – нечетких  $\pi$ -квантовых моделей ( $\pi$ РАКЗ-моделей);
- $M_v$  – вероятностных  $v$ -квантовых моделей ( $v$ РАКЗ-моделей).

Для каждого подкласса необходимо разработать методики решения соответствующих базовых  $A_t, B_t, C_t$ -задач,  $A_\pi, B_\pi, C_\pi$ -задач и  $A_v, B_v, C_v$ -задач, что требует выполнения следующих научных заданий:

а) формализовать РАКЗ-модели принятия решений на основе построения специальных структур точных, приближенных и вероятных квантов знаний ( **$t$ -квантов,  $\pi$ -квантов и  $v$ -квантов**, соответственно);

б) сформулировать и доказать основные теоремы и утверждения, обосновывающие предложенные РАКЗ-методы принятия решений средствами  $t$ -,  $\pi$ -,  $v$ -квантов:

1б) утверждения, обосновывающие представление и построение  $t$ -квантов,  $\pi$ -квантов и  $v$ -квантов знаний в соответствующих подклассах РАКЗ-моделей  $M_t, M_\pi, M_v$ ;

2б) теоремы, обосновывающие правила манипулирования  $t$ -квантами,  $\pi$ -квантами и  $v$ -квантами знаний в указанных подклассах РАКЗ-моделей;

в) разработать модели и методы алгоритмизации процессов знаниеориентированного принятия решений на основе использования РАКЗ-моделей:

1в) синтезировать алгоритмы построения базы к-знаний (БкЗ);

2в) разработать алгоритмы решения базовых задач принятия решений при прогнозировании (С-задачи) и узнавании (В-задачи) в условиях  $\alpha$ -,  $\lambda$ -неопределенности;

г) реализовать системный синтез и разработку программного обеспечения интерактивных программных комплексов (ИПК) серии «КВАНТ» на базе ПЭВМ для автоматизированного принятия производственных решений.

Создание общей методики квантового моделирования знаниеориентированного принятия решений в условиях неопределенности базируется на построении обобщенного класса

$M = \{M_1, M_n, M_v\}$  РАКЗ-моделей, удовлетворяющих специфическим ограничениям подклассов точных  $tk$ -знаний, приближенных  $lk$ -знаний и вероятностных  $vk$ -знаний. Общность методики обусловлена общим принципом автоматического векторно-матричного квантования информации с доменным представлением характеристик ОПР, единой структурой пространства РАКЗ-моделей с возможностью их аналитического конечно-предикатного представления, показанной на рис.1, а также общей индуктивно-дедуктивной логической схемой вывода искомых решений, опираясь на БкЗ, иллюстрируемой на рис. 2.

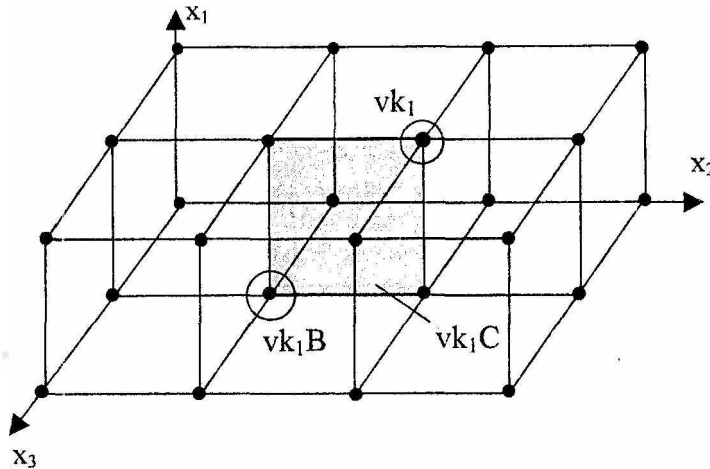


Рис.1. Квантовое пространство РАКЗ-моделей 2x4x3-размерности для трех признаков ОПР

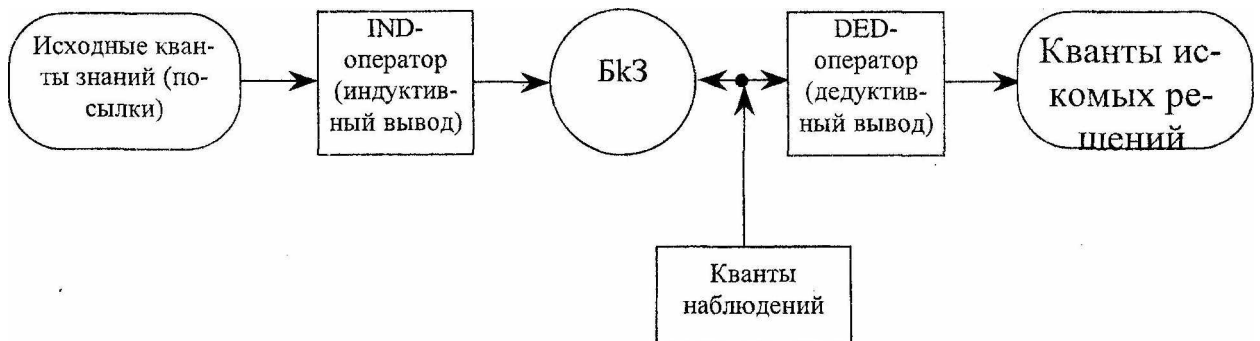


Рис.2. Общая схема причинно-следственного вывода решений

Квант знаний 1-го уровня представляет собой осмысленную, поименованную структуру данных об ОПР в виде конечного доменизированного вектора, домены которого разделены двоеточием « : » и отвечают признакам (разнотипным характеристикам) объекта, а компоненты доменов – значениям признаков;  $i$ -я компонента  $j$ -го домена должна содержать «1», если наблюдается  $i$ -е значение  $j$ -го признака ОПР, в противном случае  $i$ -я компонента равна «0».

В соответствии с семантикой (смысловой нагрузкой) данного кванта его домены логически связаны конъюнкцией, а соответствующие компоненты в домене – дизъюнкцией. В семантику входят также указание шкал измерения значений всех признаков, их количество, семантический код (т.е. имя, тип и уровень), структура и назначение кванта. Если каждый домен кванта 1-го уровня содержит строго по одной «1» в каждом домене, то он называется элементарным, в противном случае – интервальным векторным квантом. Например, точкам А и В пространства РАКЗ-моделей на рис.1 соответствуют элементарные векторные кванты с семантическими кодами  $tk_1A$  и  $tk_1B$  точных квантов знаний:

$$tk_1A = [ \overbrace{01}^{x_1} : \overbrace{0010}^{x_2} : \overbrace{010}^{x_3} ] \quad (1)$$

$$tk_1B = [ 10 : 0100 : 010 ] \quad (2)$$

а заштрихованному интервалу С отвечает точный интервальный векторный квант 1-го уровня

$$tk_1C = \left[ \begin{array}{ccc} \overline{x_1} & \overline{x_2} & \overline{x_3} \\ 11 : 0110 : 010 \end{array} \right] \quad (3)$$

который можно представить матричным вероятным квантом (v-квантом) 2-го уровня с 4-мя элементными векторными v-квантами 1-го уровня

$$vk_2C = \left[ \begin{array}{ccc} \overline{x_1} & \overline{x_2} & \overline{x_3} \\ [0,1|p_2^1 : 0,0,1|p_3^2,0 : 0,1|p_2^3,0] \\ [1|p_1^1,0 : 0,0,1|p_3^2,0 : 0,1|p_2^3,0] \\ [0,1|p_2^1 : 0,1|p_2^2,0,0 : 0,1|p_2^3,0] \\ [1|p_1^1,0 : 0,1|p_2^2,0,0 : 0,1|p_2^3,0] \end{array} \right] \quad (4)$$

где символика « $|p_i^j|$ » означает вероятность i-го значения j-го признака технологического ОНР.

На основе использования алгебраических формализмов вида (1) – (4) поставлены и решены базовые задачи квантовой формализации знаний: ( $A_1, A_2, A_3$ -задачи), а также выполнена алгоритмизация построения БЗ в режиме обучения и вывода по схеме рис.2 идентификационных (V-задача) и прогнозных (C-задача) решений соответственно для tk-знаний, lk-знаний и vk-знаний [7]. Принятие приближенных идентификационных (V<sub>н</sub>-задача) и прогнозных решений (C<sub>н</sub>-задача), а также вероятных идентификационных (V<sub>в</sub>-задача) и прогнозных решений (C<sub>в</sub>-задача) осуществляется с помощью л-квантовых сетей вывода решений (л-КСВР) и v-квантовых сетей вывода решений (v-КСВР) соответственно, которые обучаются на СПОЗ. В работах [6,7] даны строгие определения л-КСВР, v-КСВР, СПОЗ и обоснованы методы их построения соответствующими IND – и DED – операторами с применением предложенных алгоритмов обучения (АЛОБУЧ), автоматического квантования (АЛКВА), оптимизации (АЛОПТ) и управления (АЛУПР).



Рис. 3 Функциональная схема интеллектуальной системы поддержки принятия решений «КВАНТ+» для технологической подготовки авиационного производства

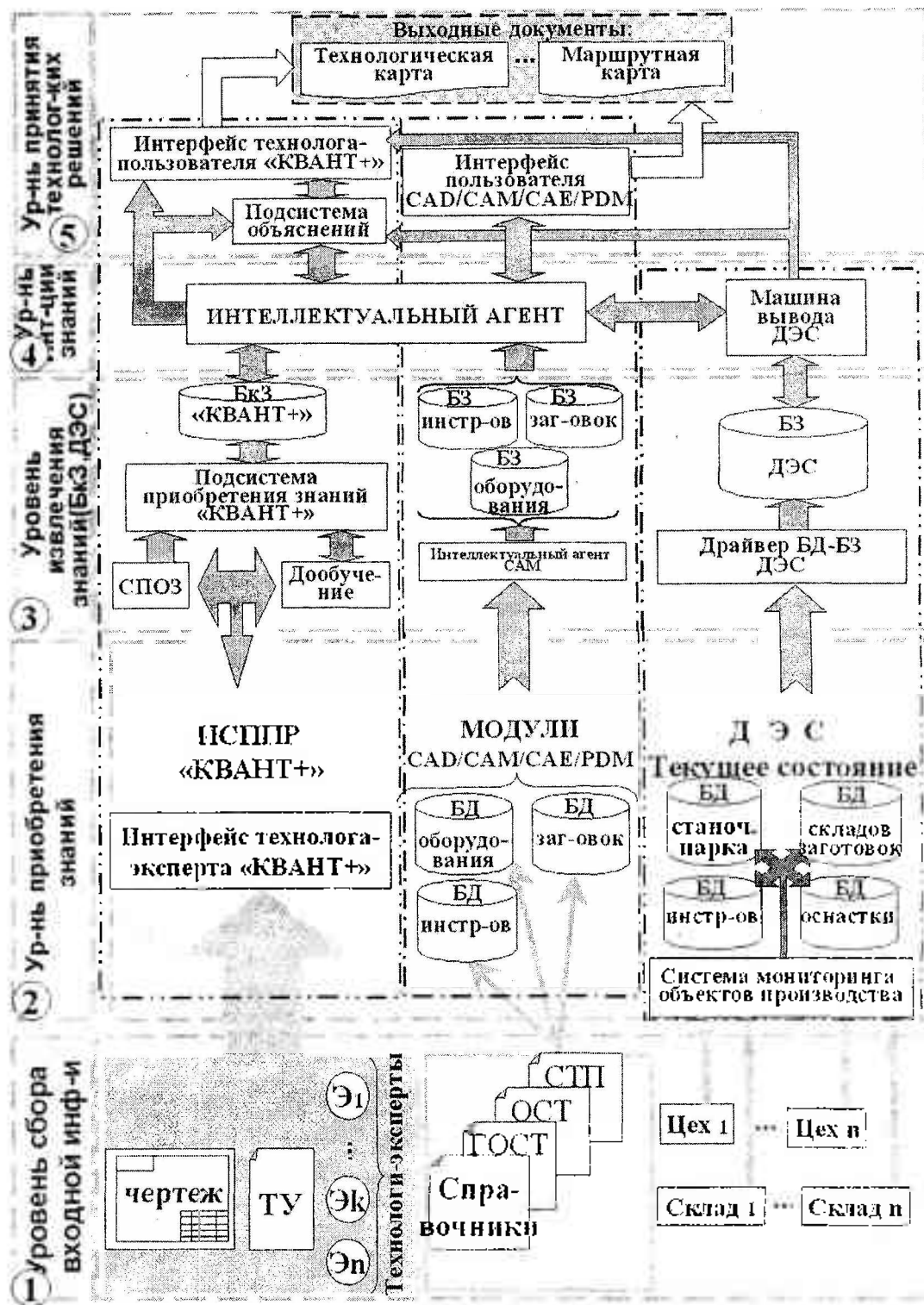


Рис. 4 Схема интеграции ИСППР «КВАНТ+», CAD/CAM и ДЭС для ТПП

На базе использования предложенной квантовой методологии знаниеориентированного принятия решений, средств объектно-ориентированной среды Borland Pascal 7.0 и Delphi 5.0, ПЭВМ средней мощности на кафедре 603 созданы интерактивные программные комплексы (ИПК) «П-КВАНТ», «V-КВАНТ», которые внедрены в учебный процесс ХАИ и ряда университетов Украины, в авиационное производство «АВИАНТ» и АНТК «АНТОНОВ»(г. Киев). Совершенствуя предыдущий опыт, развёрнуты работы по созданию ИСППР, ориентированной на автоматизацию технологической подготовки аэрокосмического производства. Разработан исследовательский прототип ИПК «КВАНТ+»,

архитектура и функциональная схема которого отражены на рис.3. Особенностью архитектуры является наличие секционированной БкЗ для принятия решений при штамповке (листовой и объемной), механообработке, наплавке, а также системы мониторинга производства, включающей динамическую экспертную систему (ДЭС) с интеллектуальным агентом, которые обеспечивают поддержку принятия технологических решений в режиме реального времени. Секционированная БкЗ допускает расширение путем добавления новых секций в зависимости от увеличения объема частных задач технологической подготовки производства, благодаря наличию подсистем обучения и дообучения на знаниях. Интеллектуальный агент режима реального времени (РВ) выполняет функции, которые делегирует ему ДЭС с целью принятия технологических решений в динамических ситуациях конкретного производства. Система мониторинга производства имеет собственную базу данных (БД), которая посредством специального интерфейса взаимодействует с производственной БЗ ДЭС при динамическом формировании решений.

Схема интеграции прототипа ИСППР «КВАНТ+» с CAD/CAM-системами и ДЭС при технологической подготовке машиностроительного производства показана на рис.4. Указанная интеграция состоит в организации взаимоувязанных процессов сбора, приобретения, извлечения необходимой информации (знаний), ее хранения и переработки на соответствующих пяти уровнях, включая процесс принятия технологических решений с участием интеллектуального агента и автоматической генерацией выходных технических документов.

### **Заключение**

Развиваемые в ХАИ ИПК «П-КВАНТ», «V-КВАНТ» и «КВАНТ+» составляют ядро новой информационной технологии инженерии знаний, которая, в отличие от известной нейросетевой технологии, строится проще путем синтеза **логических сетей** нечетких или вероятных рассуждений, способных оперативно обучаться по сценарным примерам производственных ситуаций и трансформироваться в **базы квантов знаний** с адаптирующимися структурами для эффективного вывода решений. С помощью указанных ИПК при решении ряда тестовых и практических задач получены результаты экспериментального сравнения **пРАКЗ-** и **vРАКЗ-**моделей с наиболее известными средствами инженерии знаний, показавшие высокую адекватность, эффективность и преимущества РАКЗ-метода принятия решений, которые состоят в **уменьшении среднего риска на порядок, увеличении скорости процесса обучения в 2,5 раза и сокращении объема памяти БкЗ в 1,5 раза.**

**Список литературы:** 1. Громов Г.Р. Национальные информационные ресурсы: проблемы промышленной эксплуатации. М.: Наука. 1985. 235 с. 2. Каныгин Ю.М., Калитич Г.И. Основы теоретической информатики. К.: Наукова думка. 1990. 230 с. 3. Саймон Т. Наука об искусственном. М.: Мир, 1972. 384 с. 4. Ларичев О.И., Мошковиц Е.М. Качественные методы принятия решений. М.: Наука - Физматлит, 1996. 208 с. 5. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с. 6. Сироджа И.Б., Петренко Т.Ю. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке или нечеткости данных. К.: Наукова думка. 2000. 247 с. 7. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. К.: Наукова думка. 2002. 490 с.

*Поступила в редколлегию 26.09.2002*

УДК 621.391.199

В. Н. БУРЦЕВ, Ю. В. ГНУСОВ, А. Л. ЕРОХИН

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКОННОГО СИСТЕМНОГО КАНАЛА

### Введение

Вопросы использования волоконно-оптических систем (ВОС) для моделирования и изучения некоторых "квазистохастических" процессов рассматривались в [1-3]. Основой таких физических моделей являются волоконно-оптические преобразователи (ВОП) информации [4-6], которые дают возможность формировать и визуально изучать в динамике разнообразные детерминированные хаотические процессы (ДХП) на двумерных фазовых плоскостях [7].

### Постановка задачи

Рассмотрим волоконно-оптическую модель системного канала (СК) для формирования и передачи двумерных изображений. Каждый СК имеет сформированную структуру дискретных элементов  $w_i \in A$  "входов", которая определяется конечным множеством  $W$  упорядоченных элементарных каналов (ЭК). По ЭК осуществляется передача дискретных фрагментов изображения на структуру элементов  $w'_i \in B$  "выходов", при этом элементы "входа" сопряжены соответствующим элементам "выхода"  $w'_i \in B \equiv w_i \in A$ .

Может представлять научный и практический интерес моделирование средств "технического зрения" в системах искусственного интеллекта на основе программы Enoch J. M. [8-10] ("Направление будущих исследований") с использованием волоконно-оптического СК.

Анатомически сетчатка глаза является действующей высокоорганизованной волоконно-оптической системой, состоящей примерно из 130 млн. волокон двух популяций: фоторецепторов – палочек и колбочек. Между моделью СК и сетчаткой глаза есть много общего. В отличие от ЭК фоторецепторы отделены друг от друга межклеточной вязкой средой, которая обеспечивает им оптическую светоизоляцию [12]. В дополнение к светопроводящим свойствам фоторецепторы сетчатки глаза обладает способностью анализировать световое изображение. Поперечное сечение фоторецепторов по значению близко к длине световой волны, поэтому общей закономерностью взаимодействия их со световым излучением является многомодовость волноводных свойств [8] волокон рецепторов. Следствием такого взаимодействия является неравномерное распределение энергии, которое изменяется в зависимости от длины волны и угла падения излучения [12]. Неравномерность таких распределений являются одной из составляющих "цветового анализа" светового излучения рецептором, т. к. рецептор может реагировать только на то излучение, которое попадает на его светочувствительный пигмент. В статье [8] в разделе "Направление будущих исследований" была определена тема "Создание волоконно-оптических моделей сетчатки глаза". Программа осталась не реализованной и уже в классической работе [12] эта тематика не освещалась.

Оптическая копия предметного мира в виде ее изображения проецируется хрусталиком глаза или объективом на торцы рецепторов и ЭК. На входной поверхности сетчатки и СК происходит первичное кодирование изображения в его "образ" в виде компактной совокупности множества упорядоченных дискретных фрагментов. При этом в фоторецепторах каждая точка фрагмента "образа" изображения преобразуется в нервные импульсы "возбуждения-торможения", передаваемые в систему зрительного анализатора мозга. В модельном СК "образ" – это дискретная функция преобразованных значений интенсивностей светового излучения и цветовых координат. Для решения задач моделирования средств технического зрения необходимо получить и исследовать формальные модели оптического волоконного СК.

### Разработка формальной модели

Общими механизмами преобразования изображения на дискретных структурах "входа" являются двумерное растровое представление его "образа" с новыми значениями пространственных и цветовых координат. Амплитуда и цветовые координаты светового излучения от изображения ограничиваются площадью поперечного сечения рецептора или входного ЭК и интегрируются по площа-

ди. Формально преобразование изображения на "входе" рассматриваемых оптических систем может быть представлено в виде

$$K_0 : F(x, y, I, X, Y, Z) \rightarrow F'(w_i, \sum I_i, \sum (X_i, Y_i, Z_i)), \quad (1)$$

где  $K_0$  – преобразование двумерного изображения  $F$ , заданного оптической копией в континуальном пространстве координатами  $(x, y)$  базовой системы координат;  $I$  – амплитуда светового излучения от каждой точки  $(x, y)$  изображения;  $(X, Y, Z)$  – цветовые координаты в каждой точке  $(x, y)$  изображения;  $w_i$  – координата каждого из дискретных элементов "образа изображения", заданная на "входе" упорядоченным множеством  $i$ , на котором отображаются открытые подмножества точек  $(x, y) \in F$ , ограниченные замыканием элемента  $\overline{w_i}$  (площадью сечения ЭК);  $\sum I_i, \sum (X_i, Y_i, Z_i)$  – интегральные характеристики амплитуд и цветовых координат "образа" внутри замыкания  $w_i$ .

Формальная общность признаков формирования изображения на "входах" дают возможность проанализировать некоторые топологические свойства модели СК и сетчатки глаза.

Обозначим сечения любого элемента  $w_i$  как множество входных элементов  $(w_A) \in W_A \subset W(w)$  некоторого системного канала  $W(w)$ . Не теряя общности, рассмотрим монохроматическое изображение  $F(x, y, I)$ , которое отображается на  $W_A$ . Каждое открытое множество координат  $(x, y)$  отображается на соответствующем элементе  $w_{Ai}$ , упорядоченных [15] некоторой базовой системой координат  $w^0_{Ai}$ . Базовая система координат "образа" с точностью до метрики  $d$  дискретного множества  $W_A$  соответствует базовой системе  $(x, 0), (0, y)$  поэтому открытое множество и его дискретный аналог эквивалентны между собой

$$(x, y) \cong w_{Ai}. \quad (2)$$

Из этого следует, что между изображением оптической копии и ее "образом" есть частичное нарушение адекватности, связанное с дискретностью  $w_{Ai}$ . Множество, образующее "вход" оптической системы, есть объединение его упорядоченных элементов в двумерном пространстве  $S^2$

$$W_A = \bigcup_{i \in S^2} w_{Ai}. \quad (3)$$

Возьмем три точки в исходном изображении  $F(x_1, y_1, I_1), F(x_2, y_2, I_2), F(x_3, y_3, I_3)$ , которые пересекает единственная плоскость. Ограничим плоскость тремя пересекающимися отрезками  $l_1[(x_1, y_1)(x_2, y_2)], l_2[(x_2, y_2)(x_3, y_3)], l_3[(x_3, y_3)(x_1, y_1)]$ . Полученный замкнутый треугольник обозначим как замкнутое подмножество  $(C) = \bigcup F(x_i, y_i, I_i) \setminus \overline{l_1, l_2, l_3}$ .

Отобразим на множестве  $w_{Ai}$  подмножество  $(C)$ . Каждая исходная координата  $(x_i, y_j)$  функции  $F(x, y, I) \in (C)$  отображается декартовыми произведениями в своих системах координат

$$F(x_i, y_j, I_i) = F(x_{0i} \times y_{j0}, I_{ij}) \cong F'(w_{0i} \times w_{j0}, \sum I_{ij}) = f'(w_{ij}, \sum I_{ij}) \quad (4)$$

где  $\sum I_{ij}$  – значение обобщенной интенсивности, проинтегрированной по площади элемента  $(w_{ij}) \in W_A$ ;  $F'$  – "образ" исходного изображения, отображенного на множестве  $W_A$  дискретными фрагментами  $f'$ .

Рассмотрим "образ" треугольника  $(C)$  при проективном преобразовании, которое является линейным [15]. Все точки  $F(x, y, I) \in (C)$  на множестве  $W_A$  образуют компактное подмножество расгровых фрагментов  $f'(w_{Aij}, I_{ij})$  по числу дискретных элементов, на которых подмножество  $(C)$

отображается полностью. Функция  $F(x, y, I)$  в новой системе координат  $(w^0_{Ai}) \in W_A$  в силу (3) преобразуется в компактное и упорядоченное объединение фрагментов

$$F(x, y, I) \cong F'(w_{Aij}, I) \cong \bigcup_{(ij) \in S^2} f'(w_{Aij}, I), \quad (5)$$

где  $f'(w_{Aij}, I)$  – фрагмент исходного изображения в базовой системе координат  $(w^0_{Ai})$ ;  $F'(w_{Aij}, I)$  – двумерный образ исходного изображения;  $S^2$  – двумерное множество упорядоченных индексов  $(i, j) \in M^2$ , присвоенных каждому  $w_{Aij} \in W_A$ .

Отображенный "образ"  $(C')$  обладает всеми топологическими свойствами множества  $w_{Aij} \in W_A$  (компактность, непрерывность, счетность и упорядоченность) [7,15]. Т. о. отображения на "входе" для компактного и упорядоченного множества всегда является эквивалентным исходным изображениям с точностью до естественной метрики  $d$ . Для сетчатки глаза метрикой являются размеры поперечного сечения рецептора, которые отличаются у палочек и колбочек [9]. Волоконно-оптические СК имеют равные по значению сечения ЭК. Не теряя общности, будем считать в дальнейшем метрику "входа" для обеих оптических систем одинаковой на всем множестве (3).

На основании (2-5) функция  $F'$  будет представима в виде упорядоченного множества дискретных элементов

$$f_i(x, y, I) \cong f'(w_{Aij}, I_{Aij}) \quad (6)$$

$$F'(W_A, I) \cong \bigcup_{(i, j) \in S^2} f'(w_{Aij}, I_{Aij}) \quad (7)$$

Взаимнооднозначные проекционные отображения  $F(x, y, I) \leftrightarrow F'(w_i, I)$  ограничим замыканием множества  $(\overline{W_A})$ .

$$F'(x, y, I) \cong \bigcup_{i \in S^2} f_i'(w_{Aij}, I_{Aij}) \subset \overline{W_A}. \quad (8)$$

### Исследование модели системного канала

Адекватность изображения и его "образа" (5-8) ограничивается минимальной топологией, покрывающей множество входа. При проекции изображений на "входы" сетчатки глаза оптоволоконного СК или любого другого фотоприемника с дискретной топологией элементов  $(w_{Aij}) \in W_A$  условиями формирования "образа" на множестве  $\overline{W_A}$  будут следующие:

- 1)  $(w_{Aij}) \in W_A$  – счетны и образуют дискретные, непересекающиеся подмножества  $W_A \cap W_B = \emptyset$  с естественной метрикой  $d$  в метрическом пространстве  $M^2$ ;
- 2) все элементы "входа"  $(w_{Aij}) \in W_A$  упорядочены относительно своей локальной системы координат;
- 3) множество "входа" –  $W_A = \bigcup_{(i, j) \in M^2} (w_{Aij})$  компактно;
- 4) элементы  $(w_{Aij}) \in W_A$  информационно независимы друг от друга  $w_{Aij} \cap w_{Aki} = \emptyset$ .

Если упорядоченность  $(i, j) \in M^2$  ввести как декартово произведение  $(i \times j)$ , то структуру "входа" определяем как матричную.

Рассмотрим фрагмент множества  $W_A$  (рис.), состоящий из нескольких примыкающих друг к другу ЭК ( $w_i$ ) с диаметром  $d$ , покрывающих пространство  $M^2 \approx m(\pi d^2 / 4)$ . Между ними располагается элемент  $\lambda_j$ , не пропускающий через себя свет, и совокупность таких элементов будем считать пустым  $\lambda_j \in (\Lambda) = 0$ .

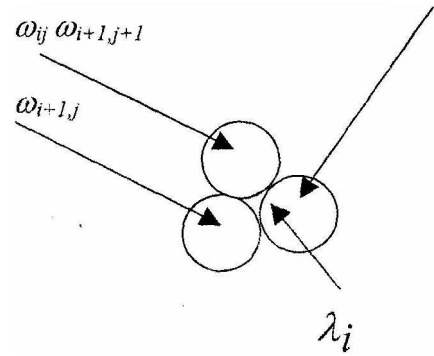


Рис. Фрагмент множества  $W_A$ .

Подмножества  $(w_A) \in W$  и  $(w_B) \in W$  удовлетворяют аксиомам замыкания. Рассмотрим эти аксиомы.

- 1) замыкание пустого множества  $\bar{\Lambda}$  совпадает с пустым множеством  $\Lambda - (\bar{\Lambda}) = (\Lambda)$ ;
- 2) каждое непустое подмножество  $(w_A), (w_B) \in W$  содержится в своем замыкании  $W \subset \bar{W}$ ;
- 3) для каждого непустого подмножества  $W$  замыкание его замыкания совпадают  $\bar{W} = \overline{\bar{W}}$ ;
- 4) для любых  $(w_A) \in W_A$  и  $(w_B) \in W_B$  замыкание их объединения совпадает с объединением замыканий  $\overline{(W_A \cup W_B)} = \bar{W}_A \cup \bar{W}_B$ .

Таким образом, элемент  $w_i$  является топологией множества  $(W)$ , которое может в дальнейшем рассматриваться как дискретное топологическое пространство  $(W, w)$ .

Для рассматриваемых моделей оптических систем топологическое пространство представляет собой пространство, аналогичное пространству, образованному множеством вещественных чисел [15], например, евклидова плоскость  $e^2$ . В указанной плоскости множество упорядоченных пар вещественных чисел и обычная топология имеет своей базой семейство всевозможных открытых кругов – множеств вида

$$((x, y): (x - a)^2 + (y - b)^2 < r^2,$$

где  $a, b, r$  – рациональные числа).

Элементы  $w_i, w_{i+1}, w_j \in (W, w)$  (рис.) имеют окрестности, ограниченные собственными замыканиями  $\bar{w}$ , которые не пересекаются между собой, что характеризует топологическое пространство как хаусдорфово ( $T_2$ ) пространство [1, 15].

Если проективное преобразование каждой точки  $(x, y)$  изображения во фрагмент  $(f'_{ij})$  "образа" представить посредством конечного предиката  $P(f'_{ij}) = (w_{ij} f'_{ij})$  "совпадения упорядоченности" переменной "образа", то легко показать равенство его логической единице

$$P(f_{ij}) = (w_{ij} f'_{ij}) = 1 \text{ для } \forall (f'_{ij}) \in F'(w_{ij}). \tag{9}$$

Тогда областью существования системы предикатов (9) для "входа" будет являться все множество с матрицей квантора существования

$$\exists(A) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix} \tag{10}$$

Тогда можно считать, что для рассматриваемых моделей само множество "входа" является топологическим инвариантом, не изменяющимся при аффинных перемещениях структуры "образа", относительно исходной информации. Это свойство математически объясняет неизменность структу-

ры "образа" при сканировании изображения [13, 16] на "входе" СК или при микронистагмах глаз [9]. При этом микронистагм является физиологическим условием поддержания зрительного раздражения, а для оптико-волоконного СК сканирование повышает его разрешающую способность.

### Заключение

При физическом моделировании входной поверхности сетчатки глаза волоконно-оптический СК будет иметь ряд преимуществ:

1) входная поверхность СК может быть выполнена криволинейной, что дает возможность исправления некоторых типов полевых аббераций таких, как сферическая абберация, кривизна поля и дисторсия;

2) входная поверхность СК при сканировании изображений может моделировать микронистагмы глаза;

3) входная поверхность СК может быть выполнен из двух типов светопроводящих волокон, отличающихся диаметрами.

Для моделирования фавеа может быть использовано стекловолокно диаметром 10–15 мкм, обладающее более высоким разрешением, а для остальной зоны входа – 25–35 мкм. При этом высоко разрешающие светопроводы устанавливаются в центре изображения приемной поверхности, обладающей минимальными значениями полевых и хроматических аббераций [17] и со стороны выходных торцов оптически согласовываются со своим фотоприемником. Остальная зона "входа", в свою очередь, согласуется со своим фотоприемником. При этом модель "фавеа" должно использоваться для последовательного описания обстановки, при параллельной поддержке актуального зрительного поля, содержащего все единицы объекта одновременно [14]. Последнее должно обеспечиваться совместной интеграцией изображений с двух фотоприемников одновременно.

**Список литературы:** 1. Бурцев В.Н., Бурцев Вл.Н., Ерохин А.Л. Способ моделирования стохастических процессов с помощью топологических преобразований // Пробл. бионики. 2000. Вып. 51. С. 150-157. 2. Ерохин А.Л., Бурцев Вал.Н., Бурцев Влад.Н. Исследование стохастических процессов комбинаторно-топологического кодирования информации. Сообщение 1 // Радиозлектроника и информатика. 2000. № 4(13). С. 44-48. 3. Бурцев Вал.В., Бурцев Влад.В., Ерохин А.Л. Анализ связей сложноорганизованных систем с гомеостатическим и гетеростатическим управлением // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический университет»: Сб. науч. тр. Тематический выпуск: Автоматика и приборостроение. Харьков: НТУ «ХПИ». 2001. №4. С. 20-23. 4. Бурцев В.Н., Бурцев Вл.Н. Принцип комбинаторно-топологических преобразований первичной информации невербального типа в цветодинамические изображения и феномен их влияния на психофизиологическое состояние человека. Держагенство України з авторських та суміжних прав. Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір. ПА 1240 від 25.06.98. 5. Бурцев В.Н., Бурцев Вл.Н. Устройство формирования цветowych изображений. Патент России № 1320585 от 11.04.96. 6. Патент России № 2124747. Волоконно-оптический преобразователь изображения / В.Н.Бурцев, Вл.Н.Бурцев. Заявлено 10.01.99. 7. Бурцев В.М., Ерохин А.Л. Застосування теорії груп підстановок для моделювання детермінованих хаотичних процесів // Системи обробки інформації: Зб. наук. праць. Вип. 6(16). Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2001. С.47-51. 8. Капани Н.С. Волоконная оптика. Принципы и применение. М.: Мир, 1969. 463 с. 9. Keeseey U. T. J. Opt. Soc. Am., 50, 769, 1960. 10. Enoch J. M. J. Opt. Soc. Am., 53, 71, 1963. 11. Karany N.S. // J. Opt. Soc. Am., 49, 770, 1959. 12. Karany N.S., Burke J.J., Shaw C. C. // J. Opt. Soc. Am., 53, 929, 1963. 13. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов. Л.: Машиностроение, 1977. 320 с. 14. Зенкин Г.М., Петров А.П. Функциональная организация зрительного процесса и принцип Гельштата // Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987. С.265-294. 15. Кэлли Дж. Л. Общая топология. Л. 1968. 383 с. 16. Karany N.S., Eyer J.A., Keym R.E. Opt. Soc. Am., 47, 423, 1957. 17. Тудоровский А.И. Теория оптических приборов: Ч. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. 612 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2002

УДК 681.325

Н. Я. КАКУРИН, Ю. В. ЛОПУХИН, А. Н. МАКАРЕНКО

### ТРЕХТАКТОВЫЙ ДВУХКОДЕРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДВОИЧНО-К-ЗНАЧНОГО КОДА В ДВОИЧНЫЙ КОД НА РЕГИСТРАХ СДВИГА

При разработке эргономических систем типа «человек-компьютер» важную роль играют средства отображения информации. Для ее представления необходимы устройства быстрого преобразования данных, к виду удобному для восприятия.

Подобными устройствами являются специализированные преобразователи кодов (ПК), позволяющие отображать цифровую информацию в удобном для человека виде, а также выполнять обратные преобразования.

Например, ПК из К-ичной системы счисления ( $K=10$ ) в двоичную систему широко применяют в устройствах ввода информации, в мультиплексорах и контроллерах передачи данных.

Анализ известных устройств преобразования данных [1, 2] показывает, что существуют потенциальные возможности повышения их быстродействия за счет распараллеливания обработки информации в отдельных битах.

Так, например, в [2] описан ПК из 12-ричной системы счисления в двоичную систему, который использует один кодер в формирователе эквивалентов и выполняет преобразование числа за пять тактов. Увеличение числа кодеров до двух позволяет выполнить в каждом разряде параллельную обработку двух бит каждого разряда преобразуемого числа. За первый такт выполняется обработка первого и третьего бит, за второй – второго и четвертого бит, за третий – трансляция младшего разряда числа.

Рассмотрим структуру и принципы функционирования быстродействующего ПК из 12-ричной системы счисления в двоичную систему. Преобразование произвольного числа из одной системы в другую осуществляется за три такта.

На рисунке приведена структурная схема преобразователя двоично-К-значного кода в двоичный код при  $K=12$ ,  $n=3$ .

Преобразователь содержит группу из  $n$  разрядных регистров 1 сдвига, где  $n$  – разрядность входного кода, параллельные информационные входы которых являются входами преобразователя, генератор 2 импульсов, содержащий прямой П, инверсный И, прямой задержанный ПЗ выходы, первую группу из  $(n-1)$ -го триггера 3 состояния, вторую группу из  $(n-1)$ -го триггера 4 состояния, накапливающий сумматор 5, выполненный из комбинационного двоичного сумматора 6 и регистра 7 результата, формирователь 8 эквивалентов, состоящий из первого  $9_1$  и второго  $9_2$  шифраторов, группы элементов И 10, группы элементов ИЛИ 11, суммирующего счетчика 12 импульсов с предустановкой и комбинационного сдвигателя 14. Выходы регистра 7 результата являются выходами преобразователя и соединены с соответствующими вторыми входами комбинационного двоичного сумматора 6, младшие первые входы которого являются младшими информационными входами сумматора 5 и соединены с соответствующими выходами группы элементов ИЛИ 11 формирователя 8 эквивалентов, старшие информационные входы накапливающего сумматора 5 соединены с соответствующими старшими информационными выходами формирователя 8 эквивалентов, выходы комбинационного двоичного сумматора 6 соединены со входами регистра 7 результата, синхровход которого соединен с прямым задержанным выходом ПЗ генератора 2 импульсов, прямой выход П которого соединен с синхровходами триггеров 3, состояния первой группы, с синхровходом суммирующего счетчика 12 импульсов, с синхровходами триггеров 4, состояния второй группы, прямые выходы которых соединены через входы третьей информационной группы входов формирователя 8 эквивалентов с соответствующими входами второго шифратора  $9_2$ , выходы которого соединены с соответствующими входами второго слагаемого в комбинационном двоичном сумматоре 13, выходы которого соединены с соответствующими входами комбинационного сдвигателя 14, информационные входы  $i$ -го триггера 4; состояния второй группы ( $i=1,2,\dots,(n-1)$ ) соединены с выходами третьего бита  $(i+1)$ -го разрядного регистра сдвига, информационные входы  $i$ -го триггера 3, состояния первой группы ( $i=1,2,\dots,(n-1)$ ) соединены с выходами первого бита  $(i+1)$ -го разрядного регистра 1 сдвига, входы сдвига которых соединены с инверсным выходом И генератора 2 импульсов, входы сброса всех триггеров 3; состояния второй группы соединены со старшим информационным выходом суммирующего счетчика 12 импульсов, выходы триггеров 3; состояния первой группы через входы второй информа-

ционной группы соединены с соответствующими входами первого шифратора  $9_1$ , выходы которого соединены с соответствующими входами первого слагаемого в комбинационном двоичном сумматоре 13, выходы которого соединены с соответствующими входами комбинационного сдвигателя 14.

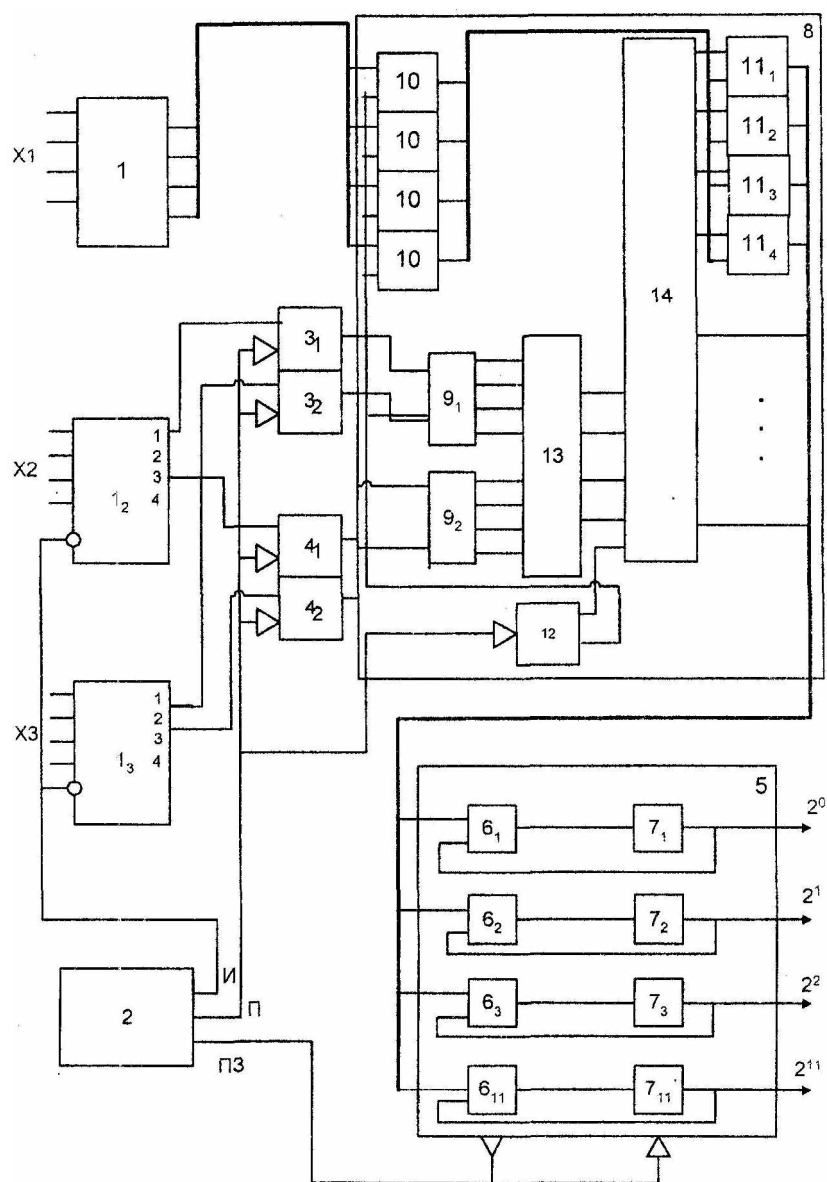


Рисунок.

Структура трехтактового двухкодерного ПК

Битовые входы младшего разрядного регистра  $1_1$  сдвига соединены через соответствующие биты первой группы входов формирователя 8 эквивалентов с соответствующими первыми входами группы элементов И 10, выходы которых соединены с соответствующими первыми входами группы элементов ИЛИ 11, вторые входы которых соединены с соответствующими младшими выходами комбинационного сдвигателя 14, старшие выходы которого являются соответствующими старшими выходами формирователя 8 эквивалентов, управляющие входы сдвигателя 14 соединены с соответствующими младшими выходами суммирующего счетчика 12 импульсов, старший выход которого соединен со всеми вторыми входами элементов И 10 группы.

Цели иницирования и сброса на чертеже не приведены.

Устройство работает следующим образом.

Так как в конкретном случае  $n=3$ ,  $K=12$ , то диапазон изменения входного кода от 0 до  $(12^3 - 1) = 0 - 1727(10)$ .

Группа триггеров 3 состояния фиксирует значение первых битов (выходов) соответствующих старших разрядных регистров 1.

Группа триггеров 4 состояния фиксирует значение третьих битов (выходов) соответствующих старших разрядных регистров 1.

Код состояний триггеров как первой группы 3, так и второй группы 4 может иметь четыре значения от 00 до 11.

В предлагаемом преобразователе двоично-К-значного кода в двоичный код формирователь эквивалентов 8, выполненный в виде последовательного соединения комбинационного сдвигателя 14, комбинационного сумматора 13, первого и второго шифраторов 9<sub>1</sub> и 9<sub>2</sub>, а также суммирующего счетчика 12 импульсов с предустановкой, реализует функцию (1):

$$S = \begin{cases} (KC1 + K^2C2) + (bKD1 + bK^2D2) & \text{при } j = 1, \\ (aKC1 + aK^2C2) + (bKD1 + bK^2D2) & \text{при } j = 2, \\ X1 & \text{при } j = 3, \end{cases} \quad (1)$$

где а – второй шаг преобразования (вес второго бита); b – третий шаг преобразования (вес третьего бита); с – четвертый шаг преобразования (вес четвертого бита); X1 – младшая тетрада преобразуемого целого числа; j – номер такта сдвига. Первый шаг преобразования (вес первого бита) равен 1.

Формирователь эквивалентов 8 преобразует вначале в первом такте двоичный код C1 C2 триггеров 3 состояния, соответствующих значениям бита 1, соответствующих значениям бита 1 соответствующих старших разрядных регистров 1 и двоичный код D1 D2 триггеров 4 состояния, соответствующих значениям бита 3 соответствующих старших разрядных регистров 1; во втором такте преобразует со сдвигом влево на один разряд (в сторону старших двоичных разрядов) код C1 C2 триггеров 3 состояния, соответствующих значениям бита 2 старших разрядных регистров 1 и двоичный код D1 D2 триггеров 4 состояния, соответствующих значениям бита 4 соответствующих старших разрядных регистров 1, и в третьем такте транслирует (передает без изменения) на выход формирователя 8 эквивалентов младшую тетраду X1 преобразуемого целого числа.

При использовании двоично-десятичного кода прямого замещения 8421, с=8=2b, а=2, значение эквивалента на выходе формирователя эквивалентов описывается функцией (2):

$$S = \begin{cases} (KC1 + K^2C2) + (bKD1 + bK^2D2) & \text{при } j = 1, \\ 2[(KC1 + K^2C2) + (bKD1 + bK^2D2)] & \text{при } j = 2, \\ X1 & \text{при } j = 3, \end{cases} \quad (2)$$

где 2 перед квадратной скобкой [ ] означает сдвиг влево на один двоичный разряд с помощью комбинационного сдвигателя 14.

Составляющая эквивалента, соответствующая выражению (KC1+K<sup>2</sup> C2)), формируется в каждом такте первым шифратором 9<sub>1</sub>, составляющая эквивалента, соответствующая второму выражению (bKD1+bK<sup>2</sup>D2)), формируется в каждом такте вторым шифратором 9<sub>2</sub>. Сложение обоих составляющих выполняется комбинационным двоичным сумматором 13.

Рассмотрим работу устройства на следующем примере.

Пусть требуется преобразовать трехразрядный входной 12 – ричный код числа

$$A0 = 1011\ 0110\ 1001_{(2-12)} = B69_{(12)} = 1665_{(10)};$$

Формирователь эквивалентов при использовании кода прямого замещения 8421 реализует функцию (3):

$$S = \begin{cases} 12C1 + 144C2 + (48D1 + 576D2) & \text{при } j = 1, \\ (24C1 + 288C2) + (96D1 + 1152D2) & \text{при } j = 2, \\ X1 & \text{при } j = 3, \end{cases} \quad (3)$$

Преобразование двоичных кодов С2 С1 триггеров 3 состояния и двоичных кодов D2 D1 триггеров 4 состояния соответствует закону функционирования формирователя эквивалентов (таблица).

Таблица

Такт	Триггеры состояния	Триггеры состояния	Общий вид эквивалента	Десятичный код эквивалента	Левый сдвиг	Значения выходных разрядов Y
j	D2 D1	C2 C1	S	S 10	m	11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
1	XX	00	0	0	0	000 0000 0000
	XX	01	K	12		000 0000 1100
	XX	10	K <sup>2</sup>	144		000 1001 0000
	XX	11	K <sup>2</sup> + K	156		000 1001 1100
	00	XX	0	0		000 0000 0000
	01	XX	b K	48		000 0011 0000
	10	XX	b K <sup>2</sup>	576		0 10 0 100 0 0000 100 1
	11	XX	b K <sup>2</sup> +b K	624		1 10000
2	XX	00	0	0	1	000 0000 0000
	XX	01	2 K	24		000 0001 1000
	XX	10	2 K <sup>2</sup>	288		001 0010 0000
	XX	11	2 K <sup>2</sup> +2 K	312		001 0011 1000
	00	XX	0	0		000 0000 0000
	01	XX	2 b K	96		000 0110 0000
	10	XX	2 b K <sup>2</sup>	1152		100 1000 0000
	11	XX	2(b K <sup>2</sup> +b K)	1248		100 1110 0000
3	00	00	X1	X1	0	Трансляция тетрады X1

В исходном состоянии регистр 7 результата обнулен, на прямом П и прямом задержанном ПЗ выходах генератора 2 -низкий уровень; на инверсном И выходе генератора 2 -высокий уровень.

Запись информации в триггеры 3 состояния с первых выходов соответствующих старших разрядных регистров 1 сдвига и запись информации в триггеры 4 состояния с третьих выходов соответствующих старших разрядных регистров 1 сдвига производится перепадом 0 – 1, т.е. по переднему фронту импульсов с прямого выхода П генератора 2; сдвиг вправо (в сторону младших бит) в старших разрядных регистрах 1 также производится перепадом 0 – 1, т.е. по заднему фронту импульсов с инверсного выхода И генератора 2.

Первоначальное занесение параллельного двоично-12-ричного кода преобразуемого числа в разрядные регистры 1 и предустановка суммирующего счетчика 12 по mod 3 формирователя эквивалентов 8 в состояние  $10_{(2)} = 2_{(10)}$  выполняется подачей нулевого сигнала на входы V разрядных регистров 1 сдвига и на вход параллельного занесения V счетчика 12. Запись информации в регистр результата производится перепадом 1 – 0 импульса с прямого задержанного выхода ПЗ генератора 2.

С приходом переднего фронта первого положительного импульса с прямого выхода П генератора 2 состояние суммирующего счетчика 12 по mod 3 изменится с  $10_{(2)}$  на  $00_{(2)}$ ; нулевой код триггеров 3 состояния изменится с C2 C1 = 0 0 на C2 C1 = 1 0. Этот код C2 C1 = 1 0 поступит на вторые информационные входы формирователя 8 эквивалентов и преобразуется в двоичный код числа 144 на выходе.

Одновременно нулевой код триггеров 4 состояния изменится с D2 D1 = 0 0 на D2 D1 = 0 1. Этот код D2 D1 поступает на третьи информационные входы формирователя 8 эквивалентов и с помощью второго шифратора 9<sub>2</sub> преобразуется в двоичный код числа 48 на его выходе.

Двоичный комбинационный сумматор 13 в результате сложения составляющих эквивалента 144 и 48 выдаст на выходе двоичный код эквивалента  $192=144+48$ , который без изменения (из-за отсутствия сдвига в комбинационном сдвигателе 14) поступит на выходы формирователя эквивалентов 8.

Поступая с выхода ПЗ генератора 2 передний фронт первого положительного задержанного импульса ПЗ разрешит сложение чисел 0 и 192 в накапливающем сумматоре 5, а задний фронт этого же импульса произведет запись информации с выходов комбинационного сумматора 6 в регистр 7 результата, установив на вторых суммирующих входах сумматора 6 двоичное значение числа 192.

С приходом заднего фронта первого отрицательного импульса с инверсного выхода И генератора 2, т.е. по перепаду 1 – 0 на входах синхронизации С старших разрядных регистров 1 произойдет сдвиг информации в этих регистрах на один разряд, т.е. в регистрах 1 установится число

$$A1= 0101\ 0011\ 1001.$$

С приходом переднего фронта второго положительного импульса с прямого выхода генератора 2 состояние суммирующего счетчика 12 изменится с 00 на 01, что приведет к сдвигу влево на один разряд выходного двоичного кода комбинационного сумматора 13 с помощью сдвигателя 14 и к записи в триггеры 3 состояния кода  $C2\ C1 = 11$ , а в триггеры 4 кода  $D2\ D1 = 10$ . В результате на выходах первого  $9_1$  и второго  $9_2$  шифраторов будут соответственно сформированы двоичные коды чисел 156 и 576, на выходах двоичного комбинационного сумматора появится их сумма  $732= 156+576$ . Из-за сдвига двоичного кода числа 732 комбинационным сдвигателем 14 на один двоичный разряд (что соответствует умножению числа на 2) на выходах формирователя эквивалентов 8 появится двоичный код числа 1464.

Передний фронт второго положительного задержанного импульса с выхода ПЗ генератора 2 разрешит сложение чисел 192 и 1464, а задний фронт этого же импульса произведет перезапись результата суммирования с выходов двоичного сумматора 6 в регистр 7 результата, установив на вторых суммирующих входах сумматора 6 двоичное значение числа 1656. Задний фронт второго отрицательного импульса установит в разрядных регистрах 1 сдвига число

$$A2= 0010\ 0001\ 1001.$$

С приходом переднего фронта третьего положительного импульса с прямого выхода П генератора 2 в счетчике 12 установится состояние 10, а код триггеров 3 состояния с  $C2\ C1=11$  изменится на  $C2\ C1=01$ , код триггеров 4 состояния с  $D2\ D1=10$  изменится на  $D2\ D1=00$ . Затем после установления в счетчике 12 состояния 10 (единица на старшем выходе), единичный сигнал с этого выхода счетчика 12 поступит на входы R сброса регистра 3 состояния и на управляющие входы группы вентилей И10, что приведет к установлению нулевых кодов  $C2\ C1=00$  и  $D2\ D1=00$ , и к отпираанию группы элементов И10.

В этом случае формирователь эквивалентов 8 транслирует двоичный код младшего разряда преобразуемого числа  $X1=9$  с разрядного регистра 1<sub>1</sub> на соответствующие четыре младших входа комбинационного сумматора 6.

Передний фронт третьего прямого задержанного ПЗ импульса разрешит сложение чисел 1656 и 9, а задний фронт этого же импульса установит двоичный код числа 1665 на выходах устройства, установит двоичный код числа 1665 на выходах устройства. На этом процесс преобразования заканчивается.

Перед каждым следующим преобразованием необходимо обнулить регистр 7 результата и выполнить запись преобразуемого двоично-12-ричного числа в регистры 1 сдвига.

Быстродействие предлагаемого устройства не зависит от разрядности преобразуемого кода и для 12-ричной системы счисления не превышает трех тактов.

Новое схемное решение и введение новых связей в структуру ПК [1] позволило при небольшом увеличении аппаратных затрат существенно повысить его быстродействие с пяти тактов до трех.

Рассмотренный выше принцип повышения быстродействия реализован в структуре трехтактного двухкодерного ПК [3].

**Список литературы:** 1. Патент Украины 17979А Н 03 М 7/12. Перетворювач двійково-К-значного кода в двійковий код / М.Я.Какурін, Г.М.Макаренко, Ю.В.Лопухін, Я.Ю.Лопухін. // Промислова власність. 1997. №2. С.562-563. 2. Какурін Н.Я., Макаренко А.Н. Четырехшаговый преобразователь кодов на регистрах сдвига. // Проблемы бионики, 1999. Вып. 50. С.195-200. 3. Патент Украины 24674А Н 03 М 7/12. Перетворювач двійково-К-значного кода в двійковий код / М.Я.Какурін, Г.М.Макаренко, Ю.В.Лопухін, Я.Ю.Лопухін, Л.К.Штець // Промислова власність. 1998. № 5. С.537-538.

*Поступила в редколлегию 21.08.2002*

УДК 681.007.05/618.3.019

В. А. ЛЮБЧЕНКО, Е. П. ПУТЯТИН

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ И НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В задачах распознавания объектом исследования являются трехмерные объекты, которые не изменяют своих абсолютных размеров в евклидовом пространстве. Однако при получении их изображений (на пленке, экране), образуется двумерный снимок объекта, который и обрабатывается (путем нормализации, идентификации, распознавания и т.д.).

В зависимости от расположения камеры снимок объекта получается с теми или иными геометрическими искажениями. Под эталонным снимком изображения будем понимать такое изображение объекта, к которому легче всего привести все остальные изображения. Вообще говоря, за эталонный снимок можно взять любое изображение из этого класса.

Поскольку объект трехмерный, у него будет несколько эталонных изображений (снимки с разных сторон объекта), по которым можно получить все остальные возможные изображения рассматриваемого объекта.

Остановимся на основных расположениях камеры и объекта. Возможны два случая: подвижная камера – неподвижный объект, и наоборот.

В работе будем использовать второй случай. Итак, у нас есть объект, расположенный относительно камеры на любой дистанции под любым углом. В зависимости от этого на снимке будут изменяться те или иные параметры. Выберем модель изменения этих параметров, для наиболее точного описания поведения объекта. С этой целью рассмотрим сначала простые случаи, а потом их комбинацию.

Рассмотрим 1-й случай: меняется расстояние до объекта (рис. 1).

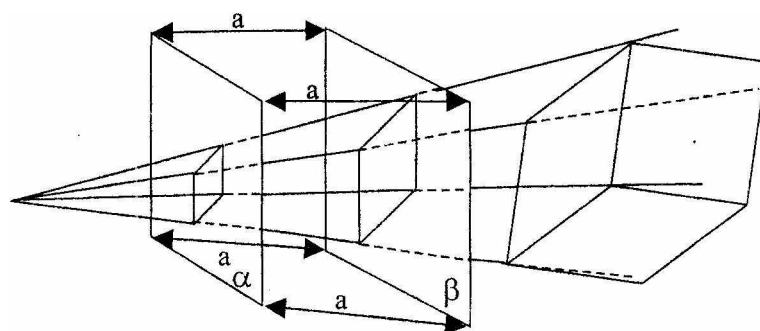


Рис. 1.

Все точки объекта удаляются на одинаковое расстояние  $a$ . Следовательно, получаемые изображения рассматриваемого объекта будут отличаться только коэффициентом масштаба (например, изображения объекта на плоскостях  $\alpha$  и  $\beta$ ). Поведение объекта в этом случае можно описать группой сжатий.

Случай 2-й: меняется угол поворота плоскости объекта, которая перпендикулярна к оси камеры.

В этом случае изменяется не расстояние от камеры до элементов объекта, а только расположение. Как видно из рис. 2, получаемые изображения будут отличаться только на угол поворота  $\theta$ . Поведение объекта в этом случае характеризует группа поворотов.

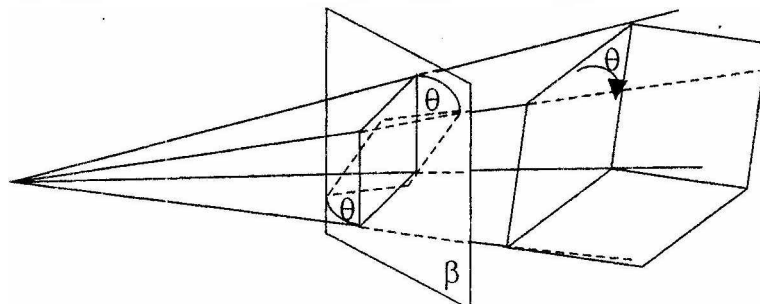


Рис. 2.

Рассмотрим 3-й случай: меняется угол поворота плоскости объекта, не перпендикулярной к оси камеры (рис. 3).

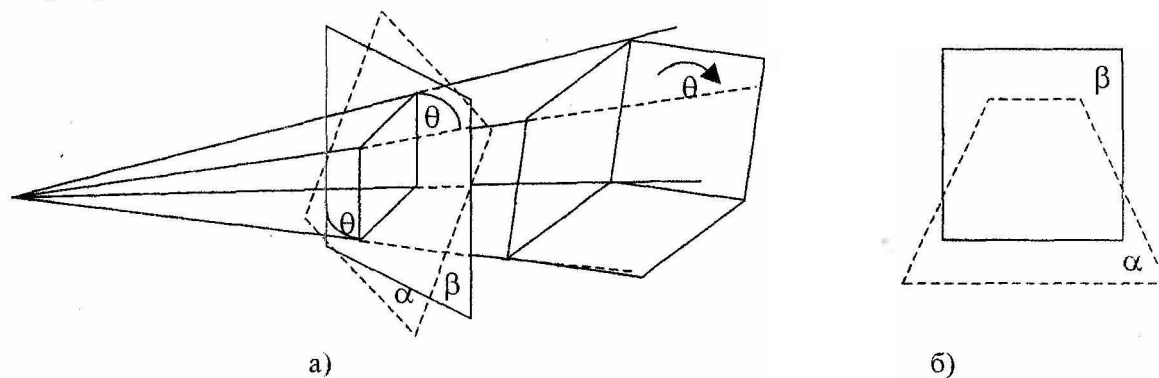


Рис. 3.

В этом случае получаемые изображения объекта будут отличаться до определенного угла поворота параметрами перспективы, а далее они могут переходить, вообще говоря, в другое множество изображений (объект повернут к камере другой своей стороной).

Как изменяется объект в плоскостях  $\alpha$  и  $\beta$  показано на рис. 3, а и рис. 3, б.

Можно также рассматривать и ряд других случаев: смещение, все возможные комбинации тех или иных размещений. На рис. 4 приведен один из таких вариантов.

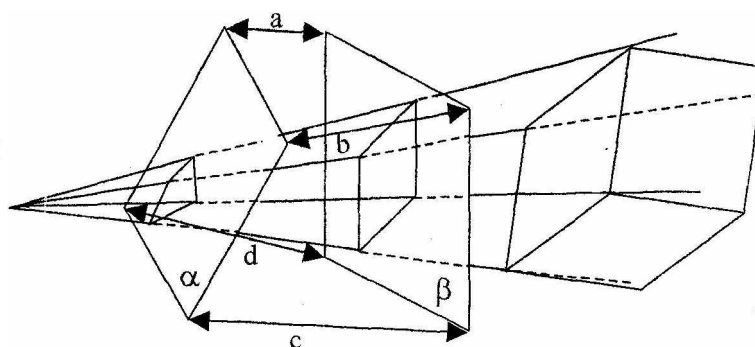


Рис. 4.

Из теории известно, что изображения лежащие в плоскостях  $\alpha$  и  $\beta$ , имеют проективное соответствие [1].

Следовательно, все интересующие изменения изображений объекта можно описать, используя проективную группу П. Целесообразно строить модель зрения, базируясь на принципах теории проективных преобразований.

Допустим, что у нас есть два изображения: эталонное и входное, полученное из эталонного путем воздействия на него преобразованием, входящим в проективную группу. Обозначим изображения соответственно  $V_0(x, y)$  и  $V(x', y')$ .

Из теории проективных преобразований известно, что в этом случае координаты изображений имеют следующие формулы связи:

$$x' = \frac{b_{11}x + b_{12}y + b_{13}}{b_{31}x + b_{32}y + b_{33}}, \quad y' = \frac{b_{21}x + b_{22}y + b_{23}}{b_{31}x + b_{32}y + b_{33}} \quad (1)$$

где матрица преобразования  $\Pi = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix}$  и  $\det(\Pi) \neq 0$ .

Разделив выражение (1) на постоянный параметр  $b_{33} \neq 0$  и переобозначив параметры, зависимость между эталонным и входным изображениями принимает вид:

$$x' = \frac{b_{11}x + b_{12}y + b_{13}}{b_{31}x + b_{32}y + 1}, y' = \frac{b_{21}x + b_{22}y + b_{23}}{b_{31}x + b_{32}y + 1} \quad (2)$$

соответственно  $\Pi = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & 1 \end{pmatrix}$  и  $\det(\Pi) \neq 0$ .

Таким образом, предполагаем, что на вход зрительной системы поступает изображение, которое отличается от заранее определенного эталонного преобразованием вида (2).

Своей задачей будем считать определение параметров матрицы  $\Pi$  для построения нормализатора  $F$  [2].

Нормализация бывает параллельной, последовательной и последовательно-параллельной.

Параллельная нормализация – это нормализация, при которой параметры нормализатора получают одновременно

$$V_0 = F(V),$$

где  $V = V(x, y)$ ,  $V_0 = V_0(x, y)$  – функция, характеризующая распределение яркости входного и эталонного изображений.

Последовательная нормализация – это когда изображение приводится к эталонному виду поэтапно, через промежуточные изображения:  $V_1, V_2, \dots, V_n$ .

$$V_0 = F_1(V) F_2(V_1) F_3(V_2) \dots F_{n+1}(V_n).$$

Последовательно-параллельная нормализация – это когда через промежуточные изображения  $V_1, V_2, \dots, V_n$  получают параметры нормализации для построения общего нормализатора  $F$ , который получается синтезом нормализаторов  $F_1, F_2, \dots, F_{n+1}$  ( $F = F_1 F_2 \dots F_{n+1}$ ), а потом выполняют параллельную нормализацию  $V_0 = F(V)$ .

Попытки выполнить параллельную нормализацию для проективной группы приводили к достаточно трудоемким построениям и вычислениям, например метод контомитантов [2], а иногда вообще не представлялись возможными. Поэтому остановимся на двух других подходах.

Нужно установить, какими нормализаторами возможно нормализовать входное изображение. Это равносильно задаче получения разложения проективной группы, на подгруппы, для которых известны нормализаторы.

Получены некоторые разложения проективной группы:

$$\Pi = \Pi_{\alpha} C_{xy}, \quad (3)$$

где  $\Pi_{\alpha}$  – центропроективная группа;  $C_{xy}$  – группа смещений.

$$\Pi_{\alpha} = D(m, n) P_y(t) P_x(k) X(\beta) U(\alpha) \quad (4)$$

где  $D(m, n)$  – сжатие вдоль осей,  $P_y(t)$  – преобразования перспективы вдоль оси ординат с параметром  $t$ ,  $P_x(k)$  – преобразование перспективы вдоль оси абсцисс с параметром  $k$ ,  $X(\beta)$  – косой сдвиг вдоль оси абсцисс на угол  $\beta$ ,  $U(\alpha)$  – поворот на угол  $\alpha$

$$\text{т.е. } D(m, n) = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & n & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad P_y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & t & 1 \end{pmatrix}, \quad P_x(k) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ k & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad X(\beta) = \begin{pmatrix} 1 & \text{tg}(\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$U(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Pi = A P_x(n) P_y(m), \quad (5)$$

$$\Pi = A P_{\alpha}(h), \quad (6)$$

где  $A$  - аффинные преобразования;  $P_x(n)$  - преобразования перспективы вдоль оси абсцисс с параметром  $n$ ;  $P_y(m)$  - перспективы вдоль оси ординат с параметром  $m$ ;  $P_\alpha(h)$  - преобразования перспективы вдоль прямой с углом наклона, равным  $\alpha$ ,

$$\text{т.е. } A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, P_x(n) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ n & 0 & 1 \end{pmatrix}, P_y(m) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & m & 1 \end{pmatrix}, P_\alpha(h) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -h \cos(\alpha) & h \sin(\alpha) & 1 \end{pmatrix}.$$

Сравним разложения (3), (5) и (6). Разложения (3) удобно применять, когда известен хотя бы один образ на входном изображении, что дает возможность отцентрировать относительно него изображения и рассматривать уже центропроективную группу  $\Pi_u$ . Последняя допускает разложение (4).

Таким образом, на основе разложений (3) и (4) можно составить последовательно-параллельный нормализатор:

$$F = F_u F_c, \quad (7)$$

$$F_u = F_D F_{P_y} F_{P_x} F_X F_U, \quad (8)$$

где  $F_u$  - нормализатор центропроективной группы;  $F_D$  - нормализатор группы сжатий;  $F_{P_y}$ ,  $F_{P_x}$  - нормализаторы группы перспективы вдоль осей ординаты и абсциссы соответственно;  $F_X$  - нормализатор группы косоугольного сдвига;  $F_U$  - нормализатор группы поворотов.

А также можно определить последовательно-параллельный нормализатор  $F$ :

$$F = F_D F_{P_y} F_{P_x} F_X F_U F_c. \quad (9)$$

Геометрический смысл параметров, представленных в разложении (4) можно интерпретировать следующим образом (см. рис 5.). Пусть векторы  $\ell$  и  $\eta$  совпадают по направлению с осями  $OX$  и  $OY$  и при центропроективном преобразовании переходят соответственно в  $\ell'$  и  $\eta'$ .

$\alpha$  - угол между  $\ell$  и  $\ell'$ ;

$\beta$  - угол между  $\eta'$  и  $\bar{n}$  - вектор нормали к прямой  $\ell'$ ;

$m, t$  - параметры сжатия и перспективы вдоль вектора  $\ell'$ ;

$m$  - сжатие,  $t$  - перспектива;

$n, k$  - параметры сжатия и перспективы вдоль вектора  $\eta'$ ,

$n$  - сжатие,  $k$  - перспектива;

$$\text{т.е. } \ell' = \frac{m\ell}{t\ell + 1} \text{ и } \eta' = \frac{n\eta}{k\eta + 1}.$$

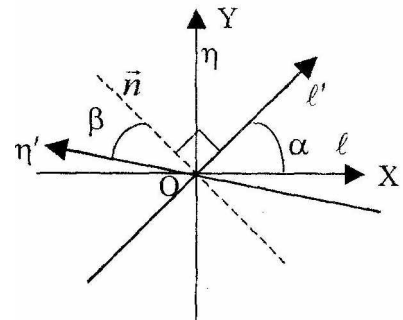


Рис. 5 Геометрическая интерпретация разложения  $\Pi_u \approx D(m,n)P_y(t)P_x(k)X(\beta)U(\alpha)$

Результат моделирования нормализаторов (7), (8), (9) приведен на рис 6.

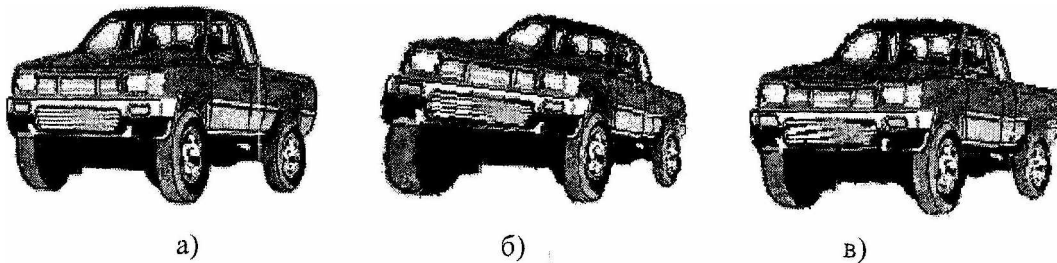


Рис. 6.

а) исходное изображение, б) изображение искаженное проективным преобразованием, в) нормализованное.

Вернемся теперь к разложениям (5) и (6). Их удобно использовать, когда известно направление возможного перспективного преобразования. Последовательно-параллельный нормализатор в этом случае можно представить в виде:

$$F = F_A F_{P_x} F_{P_y} , \quad (10)$$

или

$$F = F_A F_{P_\alpha} , \quad (11)$$

где  $F_A$  - нормализатор аффинной группы,  $F_{P_x}$  и  $F_{P_y}$  - нормализатор группы перспектив вдоль осей абсцисс и ординат, соответственно, и  $F_{P_\alpha}$  - нормализатор группы перспектив вдоль прямой с углом наклона, равным  $\alpha$ .

Однако на основе разложений (5) и (6) удобнее проводить последовательную нормализацию: сначала с помощью нормализаторов  $F_{P_x}$  и  $F_{P_y}$  или нормализатором  $F_{P_\alpha}$  избавиться от присутствия на изображении влияния перспективных преобразования, а потом уже нормализовывать геометрические искажения, внесенные группой аффинных преобразований. Для нормализации аффинных преобразований можно использовать, например, нормализатор вида [2]:

$$F_A = F_D F_U F_X F_C .$$

Рассмотрим изображения, приведенные на рис. 7. Очевидно, что мы можем установить направления перспективного преобразования, присутствующего на изображении. На рис. 7 это направление обозначено прямой  $m$ . Следовательно, при слежении на определенном участке дороги, мы можем зафиксировать направление перспективных преобразований (рис. 7, а – прямая  $m$ ), что позволяет использовать нормализаторы вида (10), (11).

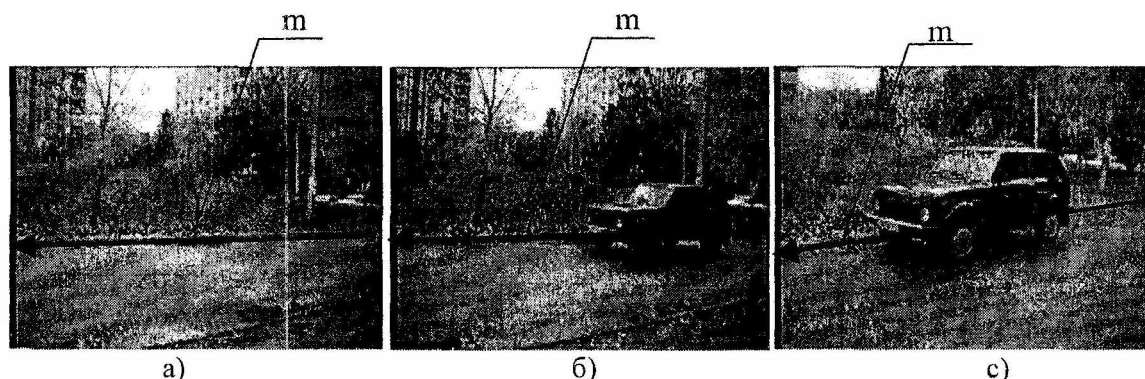


Рис.7.

Таким образом, использование проективной модели зрения позволяет намного ближе приблизиться к моделированию восприятия действительности человеческим глазом. Трудоемкий процесс нормализации проективной группы можно разбить на менее трудоемкие этапы, что позволяет значительно ускорить процедуру нормализации.

**Список литературы:** 1. Моденов П.С. Аналитическая геометрия. М.: Московский университет, 1969, 598 с.  
2. Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990, 319 с.

Поступила в редколлегию 20.06.2002

УДК 519.95:612.018

С. И. ЛАПТА

## ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ ЧЕЛОВЕКА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ДИАБЕТОЛОГИИ

Феноменологические законы, записанные в аналитической форме, т.е. в виде математической формулы, которые в последнее время принято называть математическими моделями, занимают особое, исключительное место в естественных науках. При всей своей непритязательности по сравнению с глубокими, изощренными теоретическими построениями, базирующимися на них же, они в наиболее простой и ясной форме описывают соответствующие явления. Поэтому в приложениях предпочитают использовать именно феноменологические законы. Вывод и формулировка таких законов предполагает достаточно высокий уровень математизации науки.

Привлечение математических методов к решению проблем любой естественной науки хронологически обычно проходит в три этапа, которые качественно различаются по методам феноменологического аналитического описания законов, лежащих в ее основе. Сначала в науке применяют исключительно вероятностно-статистические методы. Это этап становления естественной науки, когда еще совершенно не ясны законы, ее определяющие, когда их "нащупывают", статистически обрабатывая результаты наблюдений. Он является естественным завершением всего предшествующего доматематического периода простых наблюдений в этой науке.

Следующий этап более глубокой математизации естественной науки характеризуется уже эмпирически установленными ее общими закономерностями в виде многочисленных экспериментальных кривых функциональной зависимости между исследуемыми характеристиками объекта и попытками их аналитической аппроксимации теми или иными элементарными функциями. Такими методами до сих пор удавалось эффективно описать лишь самые простые статические, неизменные во времени закономерности.

Подавляющее большинство законов природы носит не статический, а динамический характер, когда описывающие эти законы аналитические формулы связывают не только сами исследуемые величины, но и их интенсивности (скорости изменения). Установление и исследование феноменологических динамических закономерностей естественной науки следует отнести к третьему – высшему этапу ее математизации. В рамках этого этапа проходит уже все дальнейшее развитие аналитических методов описания закономерностей естественной науки, характеризующееся выяснением содержательной интерпретации найденных феноменологических законов и переходом от них к интегрально-синтетическим законам. При этом законы, описывающие наблюдаемые явления, являются уже следствиями множества других элементарных – феноменологических закономерностей.

Медицина, как естественная наука, не является исключением в общих закономерностях процесса математизации естественных наук. В медицине этот процесс начался во второй половине 20 столетия. Это было обусловлено как внутренними потребностями самой медицины в новых методах исследований, так и высокими техническими достижениями в освоении космоса и ядерной энергетике. Проблемы появившихся новых разделов медицины – космической и радиационной, во всех странах рассматривались, как государственные, приоритетные, и решались комплексно в сотрудничестве медиков, инженеров, физиков и математиков, что с необходимостью ускорило начало математизации медицины.

Диабетология – одна из немногих областей медицины, где математические методы удалось применить достаточно полно. Это связано с уже достигнутым глубоким уровнем исследования ее проблем на физиологическом и биохимическом уровнях, большим объемом накопленных клинических наблюдений и большим практическим опытом по терапии диабета, т.е. подготовленными возможностями для эффективного использования математики.

Известно, что все разновидности сахарного диабета обусловлены теми или иными гипергликемическими нарушениями в механизме регуляции углеводного обмена в организме пациента, важнейшей характеристикой состояния которого является уровень глюкозы в крови [1]. При этом уровень гликемии в течение суток даже в норме не является постоянным, а изменяется в определенных пределах по вполне прослеживаемым закономерностям (рис. 1) [2]:

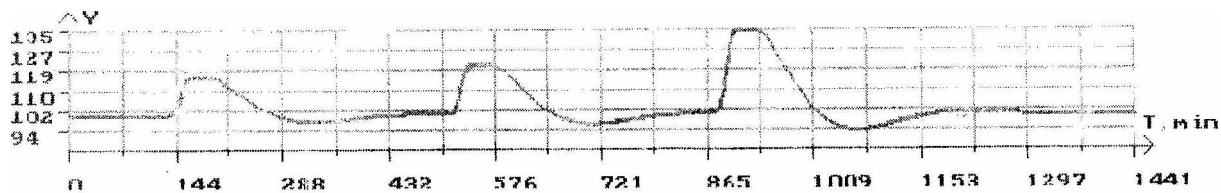


Рис. 1.

Известно, что в каждый момент времени он устанавливается в результате динамического равновесия противоположно направленных процессов экзогенного и эндогенного поступления глюкозы в кровь и ее утилизации. Интенсивность этих процессов регулируется нейрогормональными средствами, важнейшим из которых является инсулин. Недостаточная секреция инсулина поджелудочной железой приводит к сахарному диабету 1 типа, инсулинорезистентность тканей – к сахарному диабету 2 типа. Секреция инсулина и противоположно действующих, так называемых контррегуляторных гормонов, в свою очередь определяются уровнем глюкозы в крови и динамикой ее изменения. Поэтому можно говорить, что нейрогормональный механизм регуляции уровня гликемии является механизмом его ауторегуляции. Это позволяет при построении самой примитивной, так называемой минимальной, математической модели данного механизма ограничиться описанием только глюкозы в крови, сводя к ней влияние всех остальных факторов. Для диагностики различных нарушений в механизме регуляции уровня гликемии у пациента применяют ПТТГ (пероральный тест толерантности к глюкозе), а при сопутствующих осложнениях всасывания глюкозы в кишечном тракте – ВТТГ (внутривенозный тест толерантности к глюкозе) [1]. Характерная слабоосцилляционная динамика изменения уровня гликемии при проведении этих тестов в норме со специфической гипогликемической фазой представлена на рис. 2 и 3.

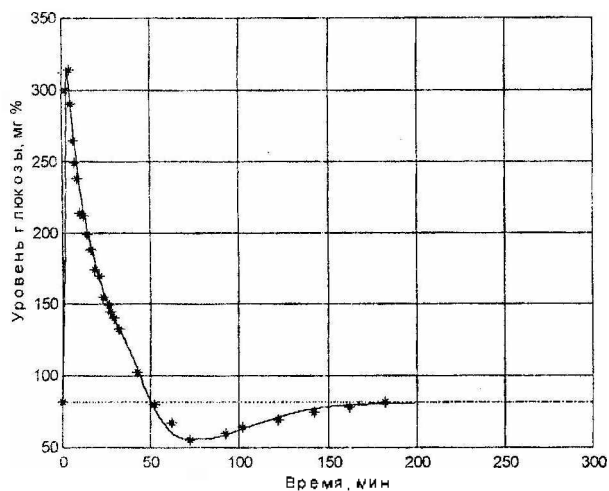


Рис. 2. Гликемическая кривая внутривенного теста толерантности к глюкозе в норме. Сплошная линия – расчетная по модели (6); \* – клинические данные из работы [4].

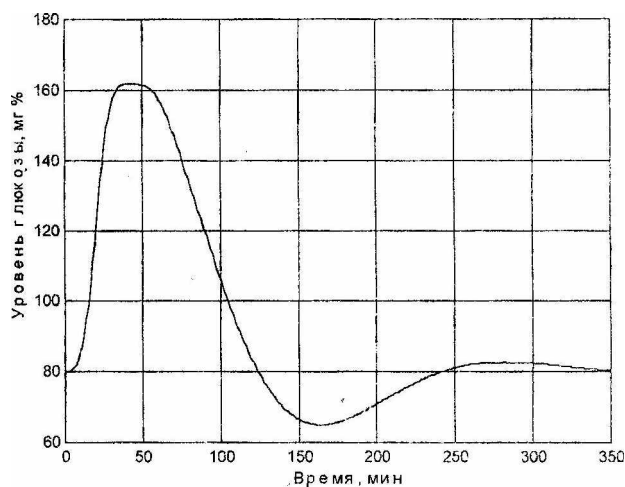


Рис. 3. Гликемическая кривая перорального теста толерантности к глюкозе в норме. Расчетная кривая по модели (6) совпадает со справочными клиническими данными [5].

Хорошо осознанные и сформулированные физиологами и медиками закономерности процессов, составляющих углеводный обмен, позволили достаточно быстро перевести эти представления на математический язык и провести их аналитическое описание сразу на уровне динамических моделей. Первые математические модели динамики углеводного обмена обсуждались в литературе еще в середине пятидесятых годов 20 столетия [3]. С тех пор интенсивность публикаций на эту тему, как в технических, так и в медицинских журналах неуклонно растет, их число достигло уже нескольких сотен. Показательно, что в ведущем журнале "Диабетология" европейской ассоциации по изучению диабета в последнее время ежегодно публикуется по несколько статей по математическому моделированию. Это обусловлено тем, что в диабетологии все отчетливее осознается насущная потребность в применении математики. Клиническая практика последних десятилетий показала, что старые классические подходы

и методы диабетологии уже исчерпали свои возможности по повышению качества ранней диагностики сахарного диабета и его компенсации с помощью инсулинотерапии. Стало очевидно, что для существенного продвижения в этих направлениях необходимо создание новых компьютерных медицинских технологий, основанных на математических моделях процессов углеводного обмена

Чем может быть полезна, что может дать для диабетологии, в настоящий момент пока еще гипотетическая, физиологически адекватная и эффективная в работе математическая модель углеводного обмена? Прежде всего, такая модель с необходимостью подразумевает систематизацию и обобщение большого числа разрозненных, а подчас и противоречивых, физиологических представлений об отдельных деталях механизма регуляции углеводного обмена. Она также обобщит и включит в себя весь огромный опыт, знания и интуицию лучших практиков-клиницистов в области диабетологии, упростит и ускорит распространение этого опыта.

По значениям параметров модели, индивидуализированной для конкретного пациента, можно будет проводить дифференциальную диагностику латентных форм сахарного диабета.

В практической инсулинотерапии математическая модель углеводного обмена данного пациента может хотя бы частично заменить его при подборе эффективного режима компенсации сахарного диабета у него. Это, с одной стороны, сократит до минимума обременительные клинические испытания на самом больном, резко ускорит с помощью моделирования на ПЭВМ многосуточный (в реальном времени) подбор режима инсулинотерапии, повысит производительность труда врача и снизит время пребывания пациента в клинике. С другой стороны, эффективный подбор режима инсулинотерапии с помощью компьютерного моделирования может позволить достигнуть более высокой степени компенсации сахарного диабета, чем это удастся сейчас, и, следовательно, предотвратить его поздние сосудистые осложнения, а также повысить социальную адаптацию больного. Физиологически адекватная математическая модель углеводного обмена пациента может быть использована для управления и контроля за работой применяемых в терапии сахарного диабета носимых и имплантируемых автоматизированных дозаторов инсулина без частого контроля уровня гликемии, что представляет актуальную, пока не поддающуюся решению, медико-техническую проблему.

Первые феноменологические динамические модели изменения уровня глюкозы в крови обсуждались в статьях немецкого инженера Дришеля еще в пятидесятые годы [3]. Они представляют собой минимальные математические модели ауторегуляции гликемии, т.е. описывают лишь динамику глюкозы в крови.

Одна из них – экспоненциальная динамическая модель первого порядка типа "радиоактивного распада" (описываемая дифференциальным уравнением 1-го порядка). Это единственная модель динамики гликемии, применяемая в практической диабетологии (при возможности проведения ВТТГ), для диагностики сахарного диабета и других состояний с нарушенной толерантностью к глюкозе [1]:

$$\frac{dG_t}{dt} = -kG_t \quad (1)$$

с решением

$$G_t = G_0 e^{-kt},$$

где  $G_t$  – концентрация глюкозы в момент времени  $t$ ,  $G_0$  – ее значение в "нулевой момент времени"

(как правило, через 10 мин после начала инъекции),  $k = \frac{0,69}{t_{1/2}} \cdot 100\%$  – скорость исчезновения глюко-

зы из крови, выраженная в процентах в минуту,  $t_{1/2}$  – время, необходимое для уменьшения значения гликемии вдвое.

Считают, что у пациентов в норме должно быть  $k > 1,2\%$ , а значение  $k < 1\%$  предположительно указывает на сахарный диабет. При практическом использовании этой формулы значение гликемии обычно откладывают на графике в логарифмическом масштабе и получают зависимость величины  $\lg G_t$  от времени в виде прямой линии с угловым коэффициентом наклона равным  $-k$ .

Физиологический смысл модели (1) состоит в том, что интенсивность утилизации глюкозы в крови  $\frac{dG_t}{dt}$  прямо пропорциональна ее значению. Знак минус, стоящий перед положительным коэффициентом пропорциональности  $k$ , соответствует процессу утилизации. Модель (1) является заимст-

вованием из теории радиоактивного распада, где переходный процесс на бесконечности приводит к исчезновению распадающегося вещества. При ВТТГ переходный процесс завершается установлением базального уровня гликемии  $G_b$ , значительно превышающего нулевое значение (рис. 2). Поэтому в модели (1) методически правильнее под  $G_t$  и  $G_0$  понимать не концентрацию глюкозы в крови в соответствующие моменты времени, а ее отклонение от базального уровня  $G_b$ :  $y(t) = G_t - G_b$ . Исправленное уравнение (1) при этом приобретает вид:

$$\frac{dG_t}{dt} = -k(G_t - G_b). \quad (2)$$

В этом уравнении скорость изменения уровня глюкозы в крови  $\frac{dG_t}{dt}$  прямо пропорциональна отклонению ее концентрации в крови от ее базального значения. Исправленную модель (2) можно к тому же трактовать значительно шире: ее можно применять не только при положительных (гипергликемических) отклонениях уровня гликемии от базального значения, но также и при отрицательных (гипогликемических) отклонениях. Решением уравнения (2), описывающим динамику гликемии, является функция:

$$G_t = G_b + Ae^{-kt}.$$

где  $A$  – отклонение концентрации глюкозы в крови от ее базального значения в "нулевой момент времени".

Экспоненциальная модель хорошо воспроизводит круто спадающий участок гликемической кривой ВТТГ (рис. 2), что и используется в диабетологии для диагностики. Для применения модели динамики гликемии в инсулинотерапии необходимо, чтобы она описывала всю гликемическую кривую. Экспоненциальная модель для этого непригодна: описываемый ею переходный процесс имеет принципиально аperiodический характер, что противоречит известному слабоосцилляционному возвращению уровня гликемии к базальному значению в норме. Хотя эта модель была несколько модифицирована около двадцати лет назад медиком из Москвы профессором Древалем [6], до последнего времени принципиального развития она не получила. В современной литературе по моделированию процессов углеводного обмена она даже не упоминается.

Вторая модель, рассмотренная Дришелем и позже примененная в работе [7] для описания гликемической кривой ПТТГ – модель 2-го порядка типа "затухающих колебаний гармонического осциллятора"

$$G_t = G_b + \frac{R}{\omega} e^{-\alpha t} \sin(\omega t),$$

которая дает осцилляции, подобные гликемическим на рис. 1-3, но не может воспроизвести экспоненциально спадающий участок гликемической кривой ВТТГ. Кроме того, динамическую модель ауторегуляции уровня гликемии 2-го порядка не удастся обосновать физиологически. Поэтому такая простая гармоническая модель динамики гликемии непригодна в диабетологии ни для целей инсулинотерапии, ни для диагностики. Она заслуживает внимания только потому, что все современные достаточно сложные модели углеводного обмена [4, 8] при описании динамики гликемии, в конечном счете, сводятся к ней. В основе построения этих моделей лежат две догмы: 1 – осцилляции может воспроизводить лишь динамическая модель с порядком не ниже второго, 2 – динамика изменения гликемии определяется уровнем инсулинемии. Можно показать, что обе они противоречат действительности. Поэтому, хотя за счет подбора значений большого числа параметров эти модели и позволяют формально воспроизвести всю гликемическую кривую глюкозотолерантного теста, они физиологически неадекватны и не могут быть положены в основу эффективной диагностики и инсулинотерапии сахарного диабета.

Таким образом, уже давно существует простая, используемая в медицинской практике, но узко ограниченная, феноменологическая математическая модель ауторегуляции уровня гликемии 1-го порядка. Естественной представляется работа по ее усовершенствованию, обобщению, повышению степени физиологической адекватности, достижению универсальности. Только на основе такой уни-

версальной феноменологической модели и осознания физиологического смысла всех ее элементов возможно построение полноценной адекватной интегрально-синтетической модели.

В последнее время в наших работах [9,10] была разработана принципиально новая однокомпартментная математическая модель динамики уровня глюкозы в капиллярной крови. Она является естественным усовершенствованием и обобщением простой экспоненциальной модели, применяемой в диабетологии. Новая модель аналогично экспоненциальной является 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. Одно из главных оригинальных усовершенствований состоит в учете известной инерционности механизма ауторегуляции уровня гликемии и нахождении адекватного ей математического аппарата в виде дифференциально-разностного уравнения 1-го порядка с запаздывающим аргументом относительно отклонения  $y(t) = G_t - G_b$  уровня глюкозы в крови  $G_t$  от его базального значения

$G_b$ :

$$\begin{aligned} \frac{dG_t}{dt} = \frac{dy}{dt} &= -\beta y(t-\tau), & t \geq 0, \\ y(t) = \phi(t) &= 0, & -\tau \leq t < 0, \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $\phi(t)$  – так называемая, начальная функция. В этой модели (4) также, как в экспоненциальной, интенсивность утилизации глюкозы в крови прямо пропорциональна отклонению ее концентрации от ее базального значения, но не в данный момент времени, а в предшествующий, на  $\tau$  минут раньше. Время запаздывания в системе механизма регуляции  $\tau$  зависит, вообще говоря, от величины  $y(t)$ : оно изменяется от физиологически минимального в 1 минуту при больших отклонениях до максимального около 20 минут при базальном значении гликемии. Поэтому при больших отклонениях уровня гликемии от его базального значения решение уравнения (4) имеет практически экспоненциально спадающий характер, а при малых отклонениях и значительном значении времени запаздывания – осцилляционно затухающий вид. Таким образом, данное усовершенствование экспоненциальной модели уже позволяет качественно воспроизвести всю гликемическую кривую ВТТГ после инъекции (рис. 2).

Для количественного согласования гликемических кривых с величиной глюкозной нагрузки модель (4) была дополнительно усовершенствована. Простой расчет показывает, что во время инъекции происходит еще более интенсивная утилизация глюкозы, чем после ее завершения, практически мгновенная, определяемая величиной скорости ее поступления в кровь. Эта дополнительная, мощная утилизация глюкозы физиологически, несомненно, обусловлена первой острой фазой известной двухфазной секреции инсулина поджелудочной железой при ВТТГ. Вторая фаза секреции инсулина, по-видимому, определяет ранее учтенную утилизацию глюкозы согласно формуле:  $-\beta y(t-\tau)$ . При учете поступления в кровь экзогенной глюкозы и ее дополнительной утилизации модель (4) принимает вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= f(t) - \alpha f(t) - \beta y(t-\tau), & t \geq 0, \\ y(t) = \phi(t) &= 0, & -\tau \leq t < 0, \end{aligned} \quad (5)$$

Оба усовершенствования экспоненциальной модели вместе позволяют воспроизвести всю гликемическую кривую ВТТГ, включая участок процесса инъекции и максимальный подъем кривой (рис. 2), не только качественно, но и количественно, в первом приближении. Для уточнения модели (5) следует учесть также инсулиннезависимую утилизацию глюкозы и прохождение глюкозы в мочу при превышении почечного порога реабсорбции. Оба эти процесса носят пороговый характер и им также присуща некоторая инерционность, обусловленная конечным временем распространения возмущения концентрации глюкозы по кровеносной системе. Учитывая, что за одну минуту сердце человека перекачивает практически весь наличный объем крови и, полагая, что за один такой пассаж происходит ее полное перемешивание, можно принять время запаздывания в этих процессах равным

одной минуте. Окончательно, с учетом возможного различия времени запаздывания  $\tau$  в процессах регуляции и контррегуляции, модель динамики гликемии принимает такой вид:

$$\frac{dy}{dt} = (1 - \alpha)f(t) - \beta^- y(t - \tau^-) - \gamma Es(y(t - 1) + G_b - G_g) - \mu Es(y(t - 1) + G_b - G_u), \quad t \geq 0, \quad (6)$$

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

Индекс "-" везде берется при положительных значениях функции  $y(t)$ , а "+" – при ее отрицательных значениях, в соответствии с направлением изменения уровня гликемии при этом.  $G_g$ ,  $G_u$  – почечный порог глюкозурии и порог инсулиннезависимой утилизации глюкозы соответственно,  $Es(z) = ze(z)$ , где  $e(z)$  – единичная функция Хевисайда,  $\gamma > 0$ ,  $\mu > 0$  – числовые коэффициенты. Модель (6) учитывает все основные физиологические процессы, составляющие углеводный обмен, характеристиками которых являются параметры:  $\alpha$  – коэффициент интенсивности утилизации глюкозы, контролируемой инсулином, при ее экзогенном поступлении,  $\beta^\mp$  – параметры интенсивности обратной отрицательной гормональной связи в системе регуляции уровня глюкозы в крови,  $\tau^\mp$  – время запаздывания в этой системе регуляции, обладающей инерционностью, которое хорошо описывается эмпирической формулой

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

где  $\tau_0^\mp$ ,  $a^\mp$ ,  $b^\mp$ ,  $c^\mp$  – числовые постоянные. Более конкретный физиологический смысл параметров модели (6):  $\beta^-$  и  $\tau^-$  – коэффициент интенсивности и время запаздывания в гипогликемической регуляции, осуществляемой инсулином при гипергликемических отклонениях уровня глюкозы в крови от базального значения,  $\beta^+$  и  $\tau^+$  – коэффициент интенсивности и время запаздывания в гипергликемической регуляции при гипогликемических отклонениях, осуществляемой контррегуляторными гормонами в процессах гликогенолиза и глюконеогенеза,  $\gamma$  – параметр, характеризующий интенсивность глюкозурии при превышении концентрации глюкозы в крови почечного порога реабсорбции  $G_g$ ,  $\mu$  – коэффициент интенсивности инсулиннезависимой утилизации глюкозы при уровне гликемии выше порогового значения  $G_u$ .

В случае перорального введения глюкозы модель (6) сохраняет свой вид, однако при этом изменятся функция введения глюкозы (теперь функция всасывания глюкозы в кишечном тракте) и коэффициент интенсивности утилизации глюкозы  $\alpha$ .

В каждый момент времени  $t$  уравнение с начальной функцией (6) сводится к элементарной задаче нахождения неизвестного значения функции  $y(t)$  по ее известной производной:

$$y(t) = \int_0^t [(1 - \alpha)f(s) - \beta^- y(s - \tau^-) - \gamma Es(y(s - 1) + G_b - G_g) - \mu Es(y(s - 1) + G_b - G_u)] ds. \quad (7)$$

Интеграл в правой части формулы (7) вычисляется с помощью квадратурной формулы трапеций. Согласно данному алгоритму была составлена программа вычислений на ПЭВМ, по которой проводится численный анализ. В процессе численных экспериментов находятся числовые значения параметров задачи, соответствующие клиническим гликемическим данным. Эти параметры имеют конкретный физиологический смысл, численные значения каждого из них определяют вид гликемической кривой на соответствующем ее участке. Они легко и практически однозначно находятся по клиническим данным проведенного теста. В частности, величина параметра  $\alpha$ , второго по значимости после базальной величины уровня гликемии в диагностике состояния механизма регуляции углеводного обмена, определяет максимум посталиментарного подъема уровня глюкозы в крови.

Новая модель хорошо воспроизводит гликемические кривые ВТТГ и ПТТГ конкретного пациента при соответствующем подборе значений ее параметров согласно его клиническим данным (рис. 2, 3).

При этом для данного пациента все параметры, за исключением  $\alpha$ , инвариантны относительно типа, проведенного теста. Параметр  $\alpha$  имеет разные значения при пероральном и при внутривенном введении глюкозы. При пероральном тесте его значение значительно больше, чем при внутривенном, что физиологически обусловлено более мощной секрецией инсулина при этом [1].

В заключение отметим, что наша модель является лучшей, не имеющей аналогов моделью динамики гликемии. Кроме того, благодаря физиологическому осмыслению всех ее составляющих и адекватности клиническим данным, она превосходит также и известные модели углеводного обмена, номинально относящиеся к более высокому классу математического описания. Наша модель, по видимому, впервые может полностью воспроизводить всю гликемическую кривую глюкозотолерантного теста (как ПГТГ, так и ВТТГ), не только качественно, но и количественно согласованную с величиной глюкозной нагрузки (рис. 2, 3). Она впервые описывает полностью весь суточный гликемический профиль (рис. 1). Поскольку все элементы этой модели, выраженные через уровень гликемии, имеют вполне определенный физиологический смысл, возможна их запись в явном виде через инсулин и контррегуляторные гормоны. Т.е. эта модель динамики гликемии может стать основой интегрально-синтетической модели углеводного обмена столь необходимой для диабетологии.

**Список литературы:** 1. *Endocrinology and metabolism* / Editors: P. Felig, J.D. Baxter, L.A. Frohman. – 3d ed., McGraw-Hill, INC., 1995. P.1940. 2. *Сахарный диабет* / П.Петридес, Л.Вайсс, Г.Леффлер, Вийланд О. М.: Мир. 1980. 3. *Дришель Г.* Регулирование уровня сахара крови // *Процессы регулирования в биологии*. М.: ИЛ, 1960, С. 125-137. 4. *Bergman R.N., Cobelli C.* Minimal modeling, partitional analysis and the estimation of insulin sensitivity // *Fed. Proceedings*. 1980. V. 39. P. 110-115. 5. *Клиническая оценка лабораторных тестов.* / Под ред. Н.У. Тица. М.: Медицина, 1986, 356 с. 6. *Древаль А.В.* Анализ результатов перорального теста толерантности к глюкозе с помощью математической модели // *Лабораторное дело*. 1985. № 12. С. 737-741. 7. *Matoltsy A., Gilicz A., Csermely F.* Magy. belorv. arch. 1986. 39. №2, P. 57-62. 8. *Andrea De Gaetano, Ovide Arino* Mathematical modelling of the intravenous glucose tolerance test // *J. Math. Biol.* 2000. V. 40. P. 136-168. 9. *Ланга С.И., Ланга С.С.* Функционально-феноменологическая модель перорального глюкозотолерантного теста. // *Проблемы бионики*. № 52, 2000. С.52-57. 10. *Ланга С.И., Ланга С.С., Жемчужкина Т.В.* Однокомпарментная математическая модель внутривенного теста толерантности к глюкозе // *АСУ и приборы*. № 115-2001. С.103-111.

Поступила в редколлегию 22.08.2002

УДК 621.327

А. В. КОРОЛЕВ

## ОБОБЩЕННАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ОТДЕЛЬНОМУ ПРИЗНАКУ

Разрабатываются основные теоретические положения исключения избыточности изображений на основе информативности признака произвольной физической природы.

### Понятие признака изображения

Изображение является сложным, нестационарным физическим явлением, имеющим большое количество характеристик и свойств. Основными классами характеристик изображений являются [1 – 3]:

1. Яркостные (для монохромных изображений) и цветные. В этом случае дискретное изображение характеризуется по значениям цветовых координат отдельных элементов (пикселей).
2. Вероятностно – статистические характеристики, к которым относятся безусловные и условные законы распределения значений отдельных цветовых координат или их блоков.
3. Пространственно – спектральные характеристики, получаемые в результате двухмерного ортогонального преобразования.
4. Представителями структурных характеристик являются линия, контур, пятно, свойство геометрического подобия фигур, фрактальные зависимости.

5. Психовизуальные характеристики определяются особенностью восприятия зрителем человека некоторых аналоговых деталей изображений (относится к качественной стороне понятия информации).

Объединяющей категорией различных физических характеристик является понятие признака как показателя наличия конкретной характеристики в изображении или в их совокупности. При этом для различных классов изображений преобладают признаки определенной физической природы. Однако, только для статистических признаков существуют теоретические основы оценки количества информации в изображениях. В тоже время, остальные признаки также являются количественными, и на их основе также существует возможность нахождения количества информации в изображениях. Поэтому необходимо разработать общие теоретические основы компактного представления путем анализа изображения по признакам различной физической природы, относящимся к количественной стороне понятия информации. Рассмотрим в начале положения устранения избыточности по отдельному признаку.

### Положения исключения избыточности изображений по отдельному признаку произвольной физической природы

По аналогии со статистической теорией общая теория компактного представления изображения по отдельному количественному признаку предполагает (помехи отсутствуют):

1. Анализ изображений осуществляется по совокупности признаков различной физической природы. В данном случае под *анализом изображения* по выбранному признаку понимается выявления статических или динамических закономерностей (тенденций) в количественных значениях признака.

2. Вывод количественной меры оценки информативности изображения по выбранному признаку. При этом количественная мера должна оценивать степень установленной в изображении закономерности по выбранному признаку, т.е. определять *информативность изображения* по конкретному количественному признаку.

3. Разработку системы решающих правил (методов), позволяющих отделить информативную и избыточную части изображения по заданному признаку. Это позволит устранить избыточное количество информации в изображении на основе анализа закономерностей по заданному признаку. На этом этапе организуется сопоставление двоичных кодовых комбинаций (информация представляется в ЭВМ), выделенной информативной части изображения.

В соответствии с приведенными положениями обобщенных теоретических основ компактного представления изображения сформулируем следующие определения понятия "Признак изображения". Причем дадим два определения исходя из количественной и качественной стороны понятия "информации".

С качественной стороны **признаком изображения** (качественный признак) называется визуальная особенность, позволяющая отличить изображения друг от друга.

С количественной стороны **признаком изображения** (количественный признак) называется физическое свойство, имеющее закономерность, по которой можно прямым или косвенным способом оценить количество информации в изображении.

Совокупность значений признака, полученных на анализируемом изображении, будем называть **матрицей информативности изображения по признаку** (МИИП).

Поскольку компактное представление начинается с выделения закономерностей по признаку  $S$ , то сформулируем следующее определение.

**Закономерностью** называется локально – устойчивая особенность в значениях признака, заданных на элементах фрагмента изображения. Необходимость выявления закономерностей на локальных областях (фрагментах изображений) объясняется сохранением на этих областях свойств стационарности изображения (это следует из анализа изображений).

Для рассмотрения признака  $S$  выберем фрагмент  $A_\nu$ , где  $\nu$  – индекс фрагмента, указывающий на его положение в изображении. Поскольку признаки являются количественными, то они будут принимать значения в определенном диапазоне (алфавите) называемом множеством  $Q^{(s)}$  признака  $S$ :

$$Q^{(s)} = \{q_1^{(s)}, \dots, q_k^{(s)}\},$$

где  $q_i^{(s)}$  – значение признака  $S$ ;  $k$  – количество различных значений признака.

Причем объем множества  $|Q^{(s)}|$  равен  $|Q^{(s)}| = k$ .

В общем случае при анализе отдельного фрагмента  $A_\nu$  признак  $S$  примет только часть значений множества  $Q^{(s)}$ . Обозначим подмножество значений признака  $S$ , заданных на фрагменте  $A_\nu$  как  $Q^{(s\nu)}$  (рис. 1). Тогда

$$Q^{(s\nu)} = \{q_1^{(s)}, \dots, q_{k_\nu}^{(s)}\}, \quad (1)$$

где  $k_\nu$  – количество значений признака  $S$ , выявленных на фрагменте  $A_\nu$ ,  $k_\nu \leq k$ .

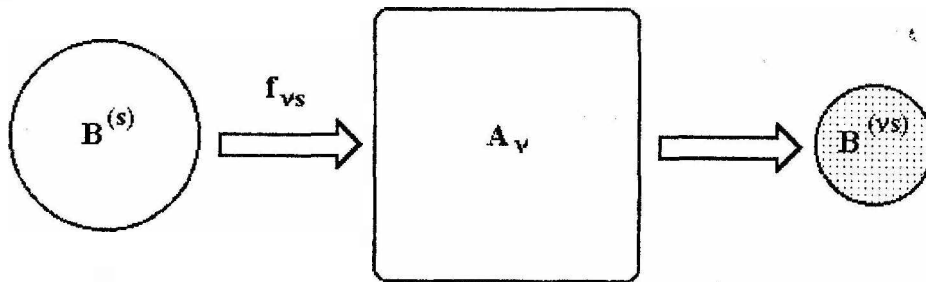


Рис. 1. Схема выборки подмножества значений признака  $S$  для заданного фрагмента  $A_\nu$

На рис. 1 в качестве  $f_{vs}$  обозначен функционал, определяющий систему правил, по которой из всего множества  $Q^{(s)}$  выбирается его некоторая часть  $Q^{(s\nu)}$ . Следовательно, функционал  $f_{vs}$  описывает закономерность признака  $S$  на фрагменте  $A_\nu$ . При этом количество информации  $H_{vs}$  в  $A_\nu$  по признаку  $S$  числена равна мощности подмножества  $Q^{(s\nu)}$ :

$$H_{vs} = |f_{vs}(A_\nu, Q^{(s)})| - 1 = |Q^{(s\nu)}| - 1 = k_\nu, \quad (2)$$

где  $|Q^{(s\nu)}|$  – мощность подмножества  $Q^{(s\nu)}$ .

Рассмотрим два крайних случая. Если длина подмножества  $Q^{(vs)}$  равна 1, т.е. из всего многообразия значений признака S на фрагменте  $A_v$  присутствует один элемент, то количество информации в  $A_v$  по S отсутствует

$$H_{vs} = 0.$$

Другим крайним примером является вариант, когда закономерности по признаку S на фрагменте  $A_v$  не выявлены, т.е.  $|Q^{(vs)}| = 0$ . Тогда признак S не будет информативным. Максимальное количество информации в  $A_v$  по S (наибольшая информативность) достигается тогда, когда количество элементов в множестве  $Q^{(s)}$  и подмножестве  $Q^{(vs)}$  совпадает.

Для известного количества информации  $H_{vs}$  можно вычислить избыточность  $R_{vs}$  фрагмента  $A_v$  по признаку S:

$$R_{vs} = \frac{H_0 - H_{vs}}{H_0}, \quad (3)$$

где  $H_0$  – количество информации в исходном фрагменте изображения без учета каких – либо закономерностей в его содержании.

Из анализа формул (2) и (3) следует:

- если  $R_{vs} > 0$ , то признак S – информативный;
- если  $R_{vs} = 0$ , то признак S – не информативный;
- если  $R_{vs} = 1$ , то фрагмент изображения  $A_v$  полностью описывается признаком S.

В случае информативности признака совокупность его значений является матрицей информативности  $I^{(vs)}$  исходного фрагмента  $A_v$  по признаку S, т.е.

$$I^{(vs)} = Q^{(vs)}. \quad (5)$$

Важной особенностью матрицы информативности является то, что она получена для количественного признака. Тогда двоичное представление  $I_{(2)}^{(vs)}$  МИИП будет преобразованной формой исходного изображения по признаку S.

В общем случае процесс  $\varphi_{vs}$  формирования двоичной матрицы информативности  $I_{(2)}^{(vs)} = Q_{(2)}^{(vs)}$  с элементами  $Q_{(2)}^{(vs)} = \{q_{(2),i}^{(vs)}\}$ ,  $i = \bar{1}, \bar{k}_v$  на основе выявления закономерностей  $f_{vs}$  по признаку S в фрагменте изображения  $A_v$  называется *компактным представлением фрагмента  $A_v$*

$$I_{(2)}^{(vs)} = \varphi_{vs} \left( f_{vs} \left( A_{(2)}^{(vs)} \right) \right), \quad (6)$$

где  $\varphi_{vs}$  – система правил, направленных на устранения избыточности  $R_{vs}$ .

Из анализа формул (1), (2) и (6) следует, что компактное представление изображения будет достигнуто, если выполняется одно из неравенств:

$$\left| Q^{(s)} \right| < \left| A^{(v)} \right| \quad \text{или} \quad H_0 > H_{vs}, \quad (7)$$

где  $\left| A^{(v)} \right|$  – мощность фрагмента изображения.

Вид функционала  $\varphi_{vs}$  определяется конкретным разработанным методом устранения избыточности  $R_{vs}$ . Поэтому среди всех возможных методов исключения избыточности  $R_{vs}$  наилучшим будет тот метод, для которого значение разности  $R_{vs}$  между двоичным представлением (компактным представлением) матрицы информативности  $I_{(2)}^{(vs)}$  и количеством информации  $H_{vs}$  будет минимальным

$$R_{vs} = I_{(2)}^{(vs)} - H_{vs} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Рассмотрим условия, для которых  $R_s \rightarrow 0$  и  $R_s > 0$ . Для этого проведем обобщенный сравнительный анализ (общий для разных количественных признаков) величин  $I_{(2)}^{(vs)}$  и  $H_{vs}$ . Согласно условию (8)  $R_s \rightarrow 0$ , если

$$I_{(2)}^{(vs)} \rightarrow H_{vs}. \quad (9)$$

В силу выражения (2) условие (9) выполняется тогда, когда мощность множества  $Q^{(vs)}$  равна 1, а  $H_{vs} = 0$ . Это выполняется при числе различных значений признака  $S$  на  $A_v$  равных 0. Тогда, если количество элементов в фрагменте изображения стремится к бесконечности  $n \rightarrow \infty$ , то  $I_{(2)}^{(vs)}$  стремится к нулю

$$\lim_{n \rightarrow \infty} I_{(2)}^{(vs)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0.$$

Во всех остальных случаях  $I_{(2)}^{(vs)} > H_{vs}$ , а  $R_s > 0$ . Это объясняется двумя причинами:

1) логарифм мощности подмножества  $Q^{(vs)}$  не больше затрат двоичных разрядов на отдельный элемент подмножества

$$\log_2 Q^{(vs)} \leq \log_2 q_{(2),I}^{(s)}.$$

2) функционал  $f_{vs}$  задается заранее и его вид для локального фрагмента остается постоянным. Однако, изображение характеризуется нестационарными процессами. Следовательно, для сохранения взаимоднозначного соответствия между фрагментом  $A_v$  и матрицей информативности  $I_{(2)}^{(vs)}$  количество элементов в множестве признаков выбирается с запасом

$$\left| Q^{(vs)' } \right| = \left| Q^{(vs)} \right|.$$

где  $\left| Q^{(vs)' } \right|$  — длина множества признаков, выбранное с информативным запасом.

Полученные теоретические обобщения верны для признаков любой физической природы, поскольку разработка этих положений проводилась в независимости от физической природы признаков.

Таким образом, разработано обобщение теоретических основ компактного представления изображения по отдельному признаку для различной физической природы.

Список литературы: 1. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Метод компактного представления цветных координат и длин серий // Системы обработки информации. Харьков: НАНУ, ПАИМ, ХВУ. 2002. Вып. 1(17). С.3–12. 2. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений М.: Международный центр научной и технической информации, 1997. 212 с. 3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982. 790 с.

УДК 519.711.3 + 004.023 + 004.934 + 004.89:612.822

А. В. РАБОТЯГОВ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ПАРАМЕТРАМ РЕЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПОВ НЕЙРОННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Трудность решения некоторых задач распознавания образов связана не только с отсутствием полезной информации об изучаемом объекте, но и с тем, как она интерпретируется. При разработке большинства методов распознавания речевых образов, в частности, идентификации говорящего, информация о сигнале представлена в виде спектра, в результате чего в данной области преобладают спектральные и статистические методы. Однако в достаточной мере проблема остается еще не решенной. Это обстоятельство побуждает к дальнейшему научному поиску, одним из направлений которого является моделирование механизмов, лежащих в основе функционирования нейронов. Формальная математическая модель предлагаемого варианта системы идентификации диктора по параметрам речи содержит элементы как нейронной сигнализации, так и элементы нового геометрического подхода к обработке речевых сигналов.

В современных процессах формирования наук многими учеными в области науковедения выделяется характерная особенность. Она состоит в том, что науки исследуют явления в соответствии с принципами мысленного конструирования, теоретического "конструктора", в рамках которого строятся различные модельные ситуации [1]. Потребность в таком конструкторе возникает всякий раз при проведении эмпирического исследования. Так, например, известный американский ученый физик-теоретик, один из основателей квантовой электродинамики, Р. Фейнман применяет конструктор для формирования модели кинетической теории газов, на основе которой он объясняет некоторые физические процессы, в частности, давление газа [2]. Газ в этой модели представляется как неопределенное количество малых твердых и упругих шаров (атомов), движения и столкновения которых хаотичны. Оговаривается, что их движения подчиняются законам механики Ньютона. В рамках этой модели давление газа эквивалентно силе, с которой действуют на поршень (подвижную стенку емкости) находящиеся внутри емкости атомы газа. В соответствии с законами механики Ньютона для данной силы можно составить математическую формулу, которая выражается через давление и объем газа, и, соответственно, количественно определить ее (силы) значение. Как видим, физик не приступает к изучению физического процесса – давления – прежде чем он не представит этот процесс в рамках той модели (конструктора), с которой он умеет обращаться, т.е. происходит сознательный переход от явления природы к модели.

Одна из характерных черт, присущих процессу построения модели – это необходимость разработки условной системы символов, формального языка, при помощи которого можно было бы описывать процессы и явления [3, 4]. В общем виде, этот язык, создаваемый и воспроизводимый человеком, состоит из конечной совокупности элементарных символов (знаков), правил их формирования и объединения. Одним из таких универсальных языков является язык математики. Как правило, в модели задействованы сложные системы математических уравнений, требующие от их составителя серьезной подготовки. Однако физика, например, отнюдь не сводится только лишь к решению математических уравнений. По этому поводу Р. Фейнман пишет: "Математики... часто при "изучении" физики теряют физику из виду и впадают в заблуждение. Они говорят: "Послушайте, эти дифференциальные уравнения... ведь это все, что есть в электродинамике; ведь сами физики признают, что нет ничего, что бы не содержалось в этих уравнениях... и если я разберусь в них математически, я разберусь и в физике". Но ничего из этого не выходит. Их постигает неудача оттого, что настоящие физические ситуации реального мира так запутаны, что нужно обладать гораздо более широким пониманием уравнений" [5, с. 29].

В качестве примера к сказанному может стать описание некоторых элементов подражательного поведения человека, выполненное Н. Рашевским [6, с. 175-198]. Для объяснения такого поведения он использует некоторые данные нейрофизиологии. На основе своих представлений о внутренних физиологических процессах и механизмах функционирования нейронов, обуславливающих указанное поведение, Рашевский приводит их описание в виде системы математических уравнений. Анализируя нейрофизиологическую модель, можно объяснить, по мнению Рашевского, поведение человека. Однако проверить модель на практике оказалось невозможно, т.к. элементы (константы и функции) уравнений не поддаются ни измерению, ни оценке. В итоге Рашевский приходит только лишь к ма-

тематическому анализу модели, само же исследование явления – подражательного поведения – потело содержательный смысл.

Следует подчеркнуть, что исследователь при описании какого-либо феномена системой математических уравнений не только должен ставить вопрос о целесообразности их применения. Здесь он может столкнуться (при положительном ответе) с трудностями принципиального характера. Это выражается в том, что нахождение корней уравнения, представленных посредством простейших элементарных функций, иногда представляет собой неразрешимую задачу. По этому поводу академик А. Н. Тихонов и профессор Д. П. Костомаров пишут: "Возьмем в качестве примера очень простое уравнение:  $x = \cos x$ . Построим графики функций, стоящих в левой и правой частях. Как видно на рисунке (здесь не представлен), они пересекаются при некотором  $x = c$  ( $0 < c < 1$ ). Число  $c$  является корнем уравнения, однако получить для него формулу невозможно... В условиях, когда формулы "не работают", когда рассчитывать на них можно только в самых простейших случаях, важное значение приобретают универсальные вычислительные алгоритмы" [7]. Одним из таких универсальных алгоритмов (в широком смысле этого слова) является разрабатываемая нами система идентификации человека по параметрам речи.

Общеизвестно, что распознавание говорящего относится к одному из биометрических способов установления личности. В отличие от способов, в которых в качестве идентифицирующей информации о человеке используются искусственные специальные средства (например, жетоны, коды, пароли), в биометрическом способе в качестве такой информации применяется природная (биологическая) информация, соответствующая физиологическим особенностям конкретного индивидуума: отпечатки пальцев, структура генов, специфические характеристики речевого сигнала и др. Несомненно, что биометрические методы гораздо более надежнее и более универсальны, т.к. сами по себе физиологические характеристики надежнее любых искусственных аксессуаров хотя бы уже потому, что они не забываются и не теряются. Однако основное достоинство решения практических задач при помощи биометрических методов состоит в применении не только самих биопараметров, но и принципов, на основе которых живые биологические системы осуществляют обработку информации. Это приводит к необходимости как детального исследования самих живых организмов, так и тщательного осмысления уже имеющихся на сегодняшний день данных, относящихся к этой области знаний.

К одним из таких принципов относится принцип нейронной сигнализации, некоторые положения которого мы и пытаемся имплицитно в нашей компьютерной модели. Иными словами мы пытаемся решить задачу так, как делают это живые организмы. Конечно, следует признать, что наши знания и представления о сложных механизмах нейронной сигнализации, несмотря на довольно обширные данные по этому вопросу [8-11] весьма ограничены и во многом утрированы. Однако мы не видим иного пути, несмотря на всю его сложность. Применение данного направления, по мнению ведущих специалистов в области распознавания образов (к этой области относится и наша система), не только мотивировано скорейшим достижением цели, но и является наиболее разумным, т.к. перенимает принципы у более совершенных распознающих систем [3].

Сложность выбранного нами направления состоит в том, что среди самих физиологов небезосновательно существуют сомнения по поводу возможности объяснения нейрофизиологических процессов. Велик ли шанс проникнуть в их суть, если физиолог выборочно следит за одной или несколькими нервными клетками, которых в мозге насчитывается более  $10^{10}$ ? Однако эта пессимистическая точка зрения при внимательном размышлении не так уж и безупречна. Установлено [8-11], что в организации нервных механизмов лежит некий упрощающий принцип, некоторые характерные особенности которого мы и берем в качестве исходных данных для построения нашей модели.

Ситуация упрощается тем, что: во-первых – сигналы, с помощью которых нервные клетки передают информацию, подразделяются только на два типа. Один тип для передачи на короткие расстояния, другой – на длинные. Во-вторых, эти сигналы одинаковы во всех нервных клетках организма. Они представляют собой стереотипные регенеративные импульсы (второй тип сигналов), физические параметры которых не коррелируют с внешним стимулом. В-третьих, одной из характеристик (от которой зависит формирование указанных импульсов) является величина некоторого критического уровня – порога.

Следует выделить то обстоятельство, что модель разрабатываемой нами системы идентификации наряду с использованием приведенных выше особенностей обладает по сравнению с существующими методами (системами) рядом отличий, связанных с формализацией знаний. Эти отличия

носят принципиальный характер и выражаются, прежде всего, как в формировании системы первичных признаков, так и в построении решающего правила.

Первое отличие состоит в способе отображения речевого сигнала. Заметим, что в основе большинства математических моделей систем распознавания речевых образов лежит спектральное отображение [3]. При таком отображении речевой сигнал рассматривается как сложное колебание, являющееся результатом сложения нескольких более простых гармонических колебаний. Характеристики таких колебаний – амплитуда и частота – используются для отображения речевого сигнала в виде спектра. В нашей же модели речевой сигнал представляется как некий *геометрический* объект и, как следствие, исходные признаки, получение которых составляет один из основных этапов распознавания образов, полностью определяются геометрическими производными такого объекта.

Второе отличие обусловлено случайным характером кодирования звуковой информации в слуховом нерве [3]. Отсюда – применение статистических и вероятностных методов не только для оценки результатов психофизических экспериментов, но и для составления алгоритма, на основе которого принимаются определенные решения. В нашей модели решающее правило строится на основе *эвристического* подхода, в котором формализуемые знания описываются при помощи системы *логических* правил.

Для удобства и придания знаниям и представлениям, реализованных в модели, конкретной логически завершенной формы мы пользуемся таким понятием как векторное пространство. Это понятие распространяется не только на названия отдельных элементов и этапов системы. Оно применяется практически всегда, когда имеют дело с некоторым множеством чисел. В этом случае, как само множество чисел, так и результаты каких-либо действий над ним принято записывать в виде *вектора*, что характерно, например, для всех классов систем распознавания образов. Отметим, что одним из основных свойств векторного пространства (и, соответственно, вектора) является его размерность (число координат). При этом как само число координат, так и конкретные числовые значения каждой из координат выбираются из *конечного* множества, что является необходимым условием решения конкретных реальных задач.

Рассмотрение нашей модели ограничим примерами 2-х таких пространств, в одном из которых мы моделируем процессы, аналогичные начальной стадии сенсорной сигнализации, в другом – механизмы "высших" функций нервной системы, связанные, например, с "принятием решения". Естественно, что используемые нами аналогии в значительной степени утрированы.

### Пространство потенциалов

Для реализации указанных положений в модели мы представляем речевой сигнал в виде целостного *геометрического* объекта. В качестве такого исходного объекта исследования выделим в речевом сигнале, например, некоторый микроучасток, длительность ( $d$ ) которого составляет около 0,001 секунды (см. рис.). На данном микроучастке (объекте) выделяем точки, которые расположены на его внешнем контуре. Их положение зависит от уровня *порогов*, число и значение которых может изменяться в некоторых пределах. (На рисунке представлено 3 уровня порогов.) Выполняя указанные действия, мы стремимся сформировать некий образ, в котором были бы отражены в количественной форме некоторые геометрические свойства исходного объекта. Вычисляя расстояния, например  $|AB|$ , между контурными точками объекта, соответствующие определенному порогу, мы и находим значения составных элементов образа, которые есть не что иное, как первичные признаки, записываемые в виде вектора

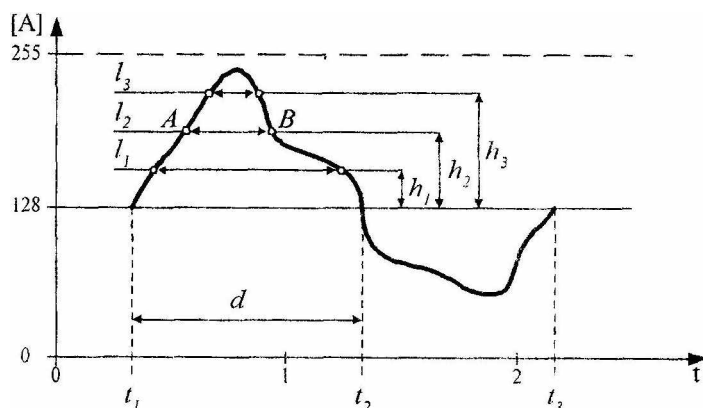


Рисунок.  
Исходный объект исследования

где, например,  $l_2 = |AB|, l_i = f(h_i); h_i$  – уровень  $i$ -го порога;  $k$  – число координат.

Здесь координаты вектора не только представляют собой свойства геометрических фигур – длины прямых линий, но и в целом коррелируют с геометрическими свойствами самого объекта исследования.

На рисунке изображен участок  $(t_1 - t_3)$  речевого сигнала. В качестве исходного объекта исследования на этом участке выделен некоторый микроучасток, длительность  $(d)$  которого составляет около 1 мсек  $(d = t_2 - t_1)$ . На данном микроучастке (объекте) выделены 3 уровня порогов  $h_i$ , на основании которых вычисляются расстояния  $l_i$  между контурными точками объекта:  $l_i = f(h_i)$ ,  $(l_2 = |AB|)$ .

По оси абсцисс расположена шкала времени  $(\tau)$  в мсек; по оси ординат – шкала амплитуд  $([A])$  дискретного речевого сигнала, значения которых принадлежат множеству натуральных чисел  $\{0 \dots 255\}$ . Значения амплитуд  $([A])$  представляют собой кодированные значения амплитуды аналогового речевого сигнала.

Как видим, такое представление апеллирует непосредственно к нашей интуиции и не составляет набора математических формул, необходимых для спектрального отображения речевого сигнала.

### Пространство состояний

Пространство состояний представляет собой своеобразную модель тех процессов, которые происходят уже после преобразования сенсорными рецепторами внешней энергии в электрические сигналы. Здесь мы переходим от одного состояния сигналов к другому, где в первом случае – это внешний стимул, параметры которого отражены в пространстве потенциалов, во втором – импульсы в виде логических "нулей" и "единиц", т.е. сигналы, с которыми уже непосредственно "работает" нервная система. Эта модель формируется на основе имеющейся информации о некоторых механизмах нервной системы, таких как возникновение и преобразование импульсов, о механизмах "принятия решения".

С этой целью мы последовательно выполняем некоторые преобразования не только над вектором  $\bar{v}$ , но и над результатами самих преобразований. Для этого вводим бинарные функции состояний, значения которых принадлежат множеству  $\{0, 1\}$ , например:

$$z_i^1 = \begin{cases} 1, & \text{если } l_i > g, \\ 0, & \text{если } l_i \leq g, \end{cases} \quad z_i^2 = \begin{cases} 1, & \text{если } |l_i - l_{i+1}| > q, \\ 0, & \text{если } |l_i - l_{i+1}| \leq q, \end{cases}$$

где  $g$  и  $q$  – некоторые значения порогов срабатывания, задаваемые эмпирически;  $i = \{1 \dots k\}$ ,  $(i = \{1 \dots k - 1\})$  для  $z^2$ ) Функции  $z_i^1, z_i^2$  являются координатами соответствующих векторов  $\bar{z}^1, \bar{z}^2$ :

$$\bar{z}^1 = (z_1^1, z_2^1, \dots, z_k^1), \quad \bar{z}^2 = (z_1^2, z_2^2, \dots, z_{k-1}^2).$$

(В дальнейшем условимся обозначать векторы и результаты преобразования над ними одними и теми же символами.)

Следующим шагом в преобразовании может стать учет некоторых *интеграционных* свойств нервной системы. Для этого будем, например, подсчитывать общее число координат вектора, значение которых равно 1:

$$n(1, \bar{z}^1) = \sum_{i=1}^k [z_i^1 = 1], \quad n(1, \bar{z}^2) = \sum_{i=1}^{k-1} [z_i^2 = 1].$$

Результат идентификации, т.е. сравнения двух объектов – неизвестного объекта  $w$  и эталонного  $v$ , описание каждого из которых соответствует указанным выше процедурам, – может быть записан как:

$$z^1 = n(1, \bar{z}^1)_v - n(1, \bar{z}^1)_w = \begin{cases} 1, & \text{если } z^1 \leq 10\% \cdot k, \\ 0, & \text{если } z^1 > 10\% \cdot k, \end{cases}$$

$$z^2 = n(1, \bar{z}^2)_v - n(1, \bar{z}^2)_w = \begin{cases} 1, & \text{если } z^2 \leq 10\% \cdot (k-1), \\ 0, & \text{если } z^2 > 10\% \cdot (k-1), \end{cases}$$

где  $k$  – общее число координат вектора, величина процентов в выражении  $10\% \cdot k$  задается эмпирически и может лежать в некоторых пределах, например, [10% – 30%].

Решающее правило, на основании которого принимается решение о том, принадлежит ли неизвестный объект  $w$  к классу  $K^v$  известных объектов  $v$ , т.е. тождественны ли неизвестный  $w$  и известный  $v$  объекты, выражаем в виде логической функции

$$z^3 = z^1 \vee z^2 = \begin{cases} 1, & \Rightarrow \text{объект } w \in K^v, \\ 0, & \Rightarrow \text{объект } w \notin K^v. \end{cases}$$

Как видим из приведенной формулы, высказывание о тождественности объектов соответствует одному из значений бинарной функции ( $z^3$ ): если  $z^3 = 1$ , то это означает, что объекты  $v$  и  $w$  тождественны; если  $z^3 = 0$ , – объекты  $v$  и  $w$  не тождественны.

В завершении подчеркнем, что представленная модель системы идентификации человека по параметрам речи является одним из возможных вариантов моделей, в которых могут быть использованы, в частности, принципы нейронной сигнализации. Однако общим критерием оценки их пригодности для решения поставленных задач является практика. Здесь отметим результаты идентификации предложенным нами методом. Надежность идентификации, полученная в результате анализа только одного гласного звука (звук  $o$  в фонетическом окружении  $vk$  в фразе "Вокзал заминирован") в контрольной выборке, представленной 131 образцом искаженной речи 11-ти произвольно отобранных дикторов, составила 100%.

**Список литературы:** 1. Розов М. А. Проблемы эмпирического анализа научных знаний. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977. 222 с. 2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 4. М.: Мир, 1965. 238 с. 3. Распознавание образов. Исследование живых и автоматических распознающих систем / Перевод с англ. Л. И. Титомира. М.: Мир, 1970. 288 с. 4. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Теория интеллекта. Математические средства. Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. 144 с. 5. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 5. М.: Мир, 1966. 296 с. 6. Математические методы в современной буржуазной социологии / Под. ред. Г. В. Осипова. М.: Прогресс, 1966. 407 с. 7. Тихонов А. Н., Костомаров Д. П. Рассказы о прикладной математике. М.: Наука, 1979. 206 с. 8. Куффлер С., Николе Дж. От нейрона к мозгу. М.: Мир, 1979. 440 с. 9. Кейдель В. Д. Физиология органов чувств. Перев. с нем. М.: Медицина, 1975. 216 с. 10. Бехтерева Н. П. и др. Мозговые коды психической деятельности. Ленинград: Наука, Ленингр. отделение, 1977. 165 с. 11. Бехтерева Н. П. и др. Нейрофизиологические механизмы мышления. Отражение мыслительной деятельности в импульсной активности нейронов. Ленинград: Наука, Ленингр. отд. 1985. 272 с.

Поступила в редакцию 19.09.2002

А. В. ШЕВЧЕНКО

## ГИПОТЕЗА СОЗНАНИЯ ИЛИ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГО ТИПА

Нет необходимости лишней раз подчёркивать всю важность *своевременного* появления новых информационных технологий и систем. Сегодня мы настолько быстро и глубоко проникаем в недра и тайны мироздания, что неадекватно растущие потребности в сфере сбора, хранения, обработки и использования информации быстро приходят в несоответствие с технологическими возможностями. Широкий спектр и масштаб научных исследований приводит к появлению комплекса научно-технических и прикладных задач огромной размерности, решение которых наталкивается на определённые технические трудности. Преодоление «проклятия размерности», повышение скорости и распараллеливание обработки информации становится задачей первостепенной важности. Гетерогенность обрабатываемых данных и специфичность задач обуславливают необходимость создания новых, мощных и принципиально иных вычислительных архитектур и алгоритмов.

Появление новых информационных технологий, воплощающих в себе эти качества, в дальнейшем невозможно без понимания того, как функционируют «наиптимальнейшие» биологические информационные системы, такие как человек и животные. Исследование физиологии живых организмов привело к появлению одной из таких архитектур и соответствующей научной дисциплины *искусственных нейронных сетей*, базирующихся на принципах функционирования систем естественного происхождения, коими являются мозг и нервная система живых существ. Вероятно, в недалёком будущем благодаря своей красоте и вычислительной мощности именно это научное направление будет определять стратегию развития информационных технологий и станет основой для создания во истину *искусственного интеллекта*.

Сегодня же искусственные нейронные сети весьма эффективно применяются для решения лишь узкого круга специальных задач. К сожалению, на нынешнем этапе своего развития они имеют ряд серьёзных технологических ограничений. Будем надеяться, что в скором времени последние будут частично или полностью устранены.

Следуя по крутому и извилистому пути от отдельных экспериментов к созданию полномасштабных информационных систем, построенных по этим технологиям, прежде всего, придётся найти ответы на ряд фундаментальных, наполовину философских вопросов, которые ставит сегодня перед нами реальность. Как то:

Что есть *информация*, и какова её природа?

Что есть семантика информации или *смысл*?

Что такое *знания* и как их добывать?

Что такое *сознание* и как работает мозг живых существ?

Что такое *интеллект*?

Что ж, это не мало. И при всём многообразии выбора альтернативы нет. Попробуем во всём разобратся.

Ответ на первый вопрос можно найти в блестящей работе [1] двух бельгийских авторов Григория Николиса и Ильи Пригожина. Последний учёный с мировым именем и дважды лауреат Нобелевской премии. Его работы хорошо известны широкой научной общественности.

Изучая поведение сложных систем и процессы нелинейной динамики, таких, как эволюция, самоорганизация и т.д., авторы приходят к выводу, что появление *информации* в мире сложного сопряжено с двумя фундаментальными условиями. Это резкое нарушение пространственной симметрии, непрерывно отсеивающее другие возможные варианты интерпретации и элемент непредсказуемости (случайности), связанный с раскрытием содержания. Нарушение симметрии является проявлением *внутренней дифференциации* между различными частями системы или между системой и её окружением, что и оказывается предпосылкой появления информации. Случайность же лежит в самой *основе* динамики идеально детерминистических систем с большим числом переменных. Сосуществование случайности и упорядоченности приводит к понятию *информации*. В конечном счете, именно отбор вариантов исхода позволяет детектировать, интерпретировать и передавать «сообщение», спрятанное в нелинейной и неравновесной динамике системы. Отбор позволяет декодировать информацию и тем самым допускает переход сложного с одного уровня на другой. Наиболее четкий пример отбора

представляет собой случай, когда бифуркация<sup>1</sup> с нарушением симметрии происходит в виде одного единственного, неповторимого события. Наделяя систему свойством множественности уникальных решений, бифуркация потенциально способна создавать информацию. Именно она является источником инноваций и диверсификации в системе, благодаря которым в ней появляются новые решения, характеризующиеся нарушением симметрии.

Оставим в стороне явление бифуркации, так как оно ближе к физике возникновения асимметрии пространства. А это, скорее, относится не к смысловому содержанию, а к теории сигналов (вариантам исхода) или теории информации по Шеннону [2]. Сосредоточим внимание на самом нарушении симметрии и попробуем уяснить значение вышесказанного на примерах уже ставших классикой и приведенных в этой же работе, но подойдем к ним с других позиций.

Представим себе слой *однородной* жидкости (например, воды) между двумя горизонтальными параллельными плоскостями, латеральные размеры которых значительно превосходят толщину слоя. Однородность среды в этом случае означает идентичность любых произвольно взятых отдельных объемов её пространства. Помещённый в такой слой миниатюрный наблюдатель, рассуждающий относительно окружающей среды, не сможет определить, в каком именно объеме пространства воды он сейчас находится. Все объемы пространства, которые можно выделить в этой среде, будут для него между собой не различимы, и ему будет *безразлично* занимаемое им положение. Иными словами нет внутренних возможностей, которые позволили бы ему ощутить понятие пространства. Вдобавок ко всему, однородность ощущений (проще говоря, отсутствие их динамики) сделает для него тождественными и все моменты времени. Поэтому и о нём он не сможет получить представление. При длительном плавании на подводной лодке с моряками-подводниками происходит, примерно, то же самое.

При равномерном нагревании снизу всей поверхности, приводящем к появлению определённой разности температур нижней и верхней граней, из-за тепловой конвекции происходит расслоение жидкости на горячие и холодные слои. Не важен сам механизм этого явления. Важно то, что при этом среда (жидкость) приобретёт определённую структуру, состоящую из восходящих и нисходящих конвекционных потоков. В ней появятся, так называемые, бенаровские ячейки.

Этот простой эксперимент, впервые реализованный Бенаром, можно проделать и в домашних условиях, медленно нагревая на плоской чугунной сковороде слой воды в 68 мм. Через некоторое время в жидкости проявятся шестигранные конвекционные ячейки, очень похожие на пчелиные соты.

Теперь для наблюдателя окружающий мир совершенно изменился! Отсчитывая количество восходящих и нисходящих потоков, он может точно определять, в каком месте пространства он находится. А, наблюдая скорость своего перемещения относительно этих потоков, ощущать время. Пространство потеряло свою однородность (симметрию), стало *анизотропным* и приобрело определённую структуру. Структурирование пространства позволило наблюдателю получить новые ощущения реальности и, следовательно, возможность получать какую-то информацию. Появился *носитель информации*.

Проведём простую аналогию с записью информации на магнитный диск. Изначально диск не содержит никакой информации. Все участки его поверхности идентичны симметричны. Намагничивая в определенной последовательности и определённым образом соответствующие участки магнитной поверхности, мы придаём ей определённую доменную структуру и, следовательно, можем записать, а потом и считать какую-то информацию. Намагниченная таким образом поверхность стала носителем информации. Но стоит поместить диск в сильное постоянное или переменное магнитное поле, он тут же окажется однородно или хаотично намагниченным и потеряет это свойство, а вместе с ним и записанную нами информацию.

Обобщая вышесказанное в необходимой плоскости, приходим к первому фундаментальному наблюдению природы информации, свидетельствующем о единстве материи и информации:

**Нарушение характеристик пространственно-временной симметрии материи ведёт к появлению носителя информации или информация выражается в нарушении симметрии пространственно-временного континуума.**

<sup>1</sup> Явление, наблюдающееся в открытых динамических системах вследствие потери устойчивости стационарного состояния в условиях нелинейности и внешних ограничений. Бифуркация наделяет систему способностью иметь множество ветвей решений при переходе через критическое значение управляющего параметра.

Что же может нести нам нарушение симметрий или информация? Как выкристаллизовать из неё смысл?

За ответом на интересующий нас вопрос обратимся к многочисленным примерам из биологии.

Как и все живые существа, на протяжении всей жизни мы ежесекундно воспринимаем из окружающей среды какую-то информацию. Запоминаем, обдумываем, используем и обмениваемся ею. Являемся ли мы с формальной точки зрения своеобразными информационными системами? Безусловно. Мы живые, ходячие информационные системы во плоти. Остаётся разобраться в собственной природе и, следовательно, прийти к пониманию того, как работают такие системы.

Возьмём для начала идеальное геометрическое тело шар из совершенно однородного материала. Как определить где у него правая, а где левая сторона? Да никак нет там ни правой, ни левой стороны. Иными словами, геометрия шара не способна собой нести информацию о понятиях правой и левой стороны. Можно ещё по-другому сформулировать нужны ли для осознания такой геометрической фигуры как шар эти понятия? Очевидно, нет.

Шар всё же может иметь и правую и левую стороны, но это будет уже относительно только позиции наблюдателя. А что тогда сказать о правой и левой сторонах шара наблюдателю, стоящему по другую его сторону. Относительно себя или относительно относительного?

В случае с человеческим телом всё выглядит по-другому. Наше тело в пространстве асимметрично и может однозначно разделять эти понятия и, более того, понятия “вправо” “влево”, “вперёд” “назад” имеют для нас определённое смысловое значение по отношению к *другим* понятиям. Если говорят идти вперёд, а потом повернуть направо, то обычно не возникает проблем с ориентацией на местности. Для нас эти понятия своеобразная смысловая система координат, заметьте, попарно противоположных и взаимно перпендикулярных по смыслу относительно нашего тела. “Идти вперёд” означает двигаться в этой системе в определенном направлении, причем привычным и естественным для нас способом.

Тело тихоокеанского краба тоже имеет правую и левую стороны. Потенциально наделим ракообразных невероятными интеллектуальными способностями. Что для него тогда означает “двигаться вперед”? Это куда? Вперёд вправо или вперёд влево? Смысловая координатная система *движений* в этом случае оказывается у него повернутой на 90° по отношению к смысловой координатной системе *ориентации* в пространстве. А понятия вперёд назад в ней в принципе перестают существовать. Остаётся только двигаться вправо или влево. Если продолжать подобную аналогию с этими членистоногими, то у речного рака, эта система вообще оказывается развёрнутой на 180°, правда, двигаться вперёд назад понятия сохраняются, а вот вправо влево исчезают. Сможем ли мы понять друг друга? Гипотетически, конечно.

Следовательно, чтобы производить однозначный обмен *примитивными* или *интуитивно понятными* сигналами, необходимо, чтобы наши представления или *элементарные* смысловые системы координат не только не различались по качеству, но совпадали и по количеству и, самое главное, имели одинаковую ориентацию относительно друг друга.

Обратим внимание на то, как мы обычно мыслим. Этот процесс носит название *артикуляции* и напоминает собой своеобразное чтение «про себя». Мы, как бы, прочитываем свою мысль и используем для этого свой родной язык. Правда, у некоторых людей это явление слабо выражено, что приводит в итоге к более эффективному и быстрому мышлению. А так как мы «читаем» свои мысли и используем для этого язык, посредством которого также и общаемся между собой, то смысл *синтезируется* через систему грамматики и словаря, однозначно задающих наш национальный язык. Но мы можем понимать друг друга и без слов. Животные вообще не владеют развитыми языковыми системами, но тоже общаются между собой и понимают друг друга. Что же для нас и для них в общем случае задаёт этот молчаливый язык?

Не ошибусь, если скажу, что изначально это наша физиология или природа. То, как мы устроены: форма тела, спецификация органов, спектр ощущений, рефлексy, инстинкты одним словом наш *генотип*. Генотип однозначно определяет своеобразную видовую грамматику, задающую свой видовой гоот-язык с его синтаксисом и семантикой, понятной всем особям данного вида. Через гены от родителей мы получаем этот дар владеть этим языком, свою изначальную смысловую систему *ощущений* и координат. С первых минут своей жизни относительно неё мы строим свои представления об окружающем мире и, впоследствии, ориентируемся в нём. Очевидно, большая часть животного мира от таких систем не уходит, но вот человек пошел дальше и развил способность абстрактного мышления.

Появившись на свет, мы обладаем лишь конечным числом чувств, а способов их выражения ещё меньше. Чего явно не хватает для выражения всех эмоций по отношению ко всему многообразию среды. Появляются *транзитные* способы или системы выражения своих эмоций *символы* или сочетания. Поначалу это осмысленные жесты, потом речь и, наконец, письменность. Живя и развиваясь в различных условиях окружающей среды, мы приобретаем свой *фенотип*, а вместе с ним и различия в своих символических системах. Появляется контекст зависимости наших представлений или ощущений от конкретики. Чем меньше этой конкретики, тем ближе наши символы. Поясним это на примерах.

Если взять двух представителей различных этнических групп, чья культура и быт на протяжении многих веков развивались и формировались порознь на разных континентах и в разных условиях, то вполне резонно ожидать значительного или даже полного различия в их традиционных средствах общения языке и письменности. И, как следствие этого, невозможность общения с помощью этих символических систем. Но на практике, после нескольких безуспешных попыток общения с помощью привычных каждому средств, они всё же находят способ обмениваться информацией, *интуитивно* опустившись на более низкий уровень язык жестов. Где, как оказывается, представления каждого из них друг о друге и об окружающем мире частично или полностью совпадают! Ведь они оба являются представителями одного вида, оба передвигаются на двух ногах, имеют две руки, оба одинаково нуждаются в пище и одинаково употребляют её, у них одинаковые инстинкты и физиологические рефлексы. Следовательно, у них есть та общая сущность или природность, относительно которой они могут друг другу *однозначно* выражать свои эмоции и побуждения. И ближе всего к отражению этой сущности у человека оказывается язык жестов и мимика. Скорее всего, диапазон языка жестов, понятных им обоим, будет небольшим и по выразительности ограниченным, но главное он даст им основу для понимания друг друга в дальнейшем.

У других видов в отношениях между особями этим элементарным языком может оказаться язык запахов или покровной окраски.

Возьмём представителей двух *разных* видов. Мне довелось на протяжении примерно двух лет наблюдать за живущей у меня дома семейкой лабораторных белых мышек. Коллективное поведение этого вида мелких грызунов иногда ставило меня в тупик. То, что я раньше считал присущим в основном более высокоорганизованным видам, в частности человеку, было хорошо узнаваемо и в поведении мышей: чувства, эмоции, мотивация были такими же, как у человека, только проявлялись они на свой «мышинный» манер.

Мыши по своей природе очень любопытны и стараются обследовать всё доступное им пространство. Если мышь физически не могла попасть на расположенный вблизи предмет, то при моём появлении она своей мышциной жестикуляцией или поведением старалась дать мне понять своё стремление попасть туда. Я понимал и трактовал его как просьбу помочь. Я подставлял ладонь. Мышь, забравшись на неё, перебиралась туда, куда ей было нужно. Разве что, только «спасибо» при этом не говорила.

Это означает, что между столь различными видами, стоящими на совершенно разных ветвях генеалогического дерева эволюции, может происходить *однозначный обмен информацией*, т.е. некоторые представления грызуна и человека относительно выражения своих побуждений и поведения в пространстве совпадают!

Трудно не догадаться, что хочет домашний кот, стоящий носом к косяку закрытой двери. Особенно если он произносит «мяу». Думаю, каждый, кто держал в доме домашнее животное, сталкивался с его «интеллектуальным» поведением. Некоторые домашние питомцы, видя поведение человека, ассоциировали открытие двери с нажатием на дверную ручку и, в отсутствие своих хозяев, небезуспешно пытались это проделать. А если они адекватно воспринимают нас и себя в пространстве, значит, у нас есть нечто общее. Где-то перекликаются наши символические системы или пересекаются наши генотипы.

Это вполне укладывается с современными представлениями в биологии об эволюции и генеалогическом дереве. Разделяя одно и то же пространство и время, живые существа эволюционировали по одним и тем же законам биосферы этой планеты. И лишь случай и разнообразие проявлений среды обитания обусловили появление такого многообразия их видов.

Следовательно, всё живое на Земле где-то в чём-то одинаково. И выходит, что взаимопонимание прямопропорционально зависит от степени схожести наших символических систем или, если вникнуть глубже, генотипов, относительно которых строятся эти системы. А ведь другие виды это наши однопланетяне. А что, если используя своё интеллектуальное превосходство над остальным живот-

ным миром, изучив гено- и фенотип животного (специфику его ощущений), и аппроксимировав свои представления на его уровень, получить возможность общения с ним и, следовательно, возможность получать от него какую-то информацию. Какова перспектива!

Перенесёмся теперь в область криптографических систем. На вход такой системы подается логически построенный и осмысливаемый текст на естественном для человека языке. Он подвергается шифрованию по специальному алгоритму при помощи некоторого набора символов (ключа) и преобразуется на выходе системы в цепочку символов, выстроенных определённым образом. Обратное преобразование легко выполняется при помощи этого же ключа. В результате, выходной документ становится нечитабельным для всех, кто не владеет этим ключом, и они не могут извлечь из него значущую информацию. Для группы лиц, владеющих криптографическим ключом, последний становится той *общей отправной точкой*, относительно которой между членами этой группы может происходить обмен смысловой информацией. Каждое зашифрованное сообщение кем-либо из группы будет понятным всем её членам, а для всех остальных оставаться абстрактным набором символов. Информацией, но ничего незначащей.

Более наглядный пример это наши естественные национальные языки. Не зная языка другой национальности, невозможно общаться с его носителями. И наоборот, владея целой *системой понятий*, т.е. словарём и грамматикой этого языка, мы становимся полноправными участниками информационного обмена.

Анализируя множество других примеров обмена информацией того или иного рода из различных сфер жизни, областей науки и техники, во всех случаях постоянно сталкиваемся с относительностью в раскрытии смыслового содержания. Похоже, смысл информации становится осязаемым только относительно некоторой системы, способной его разворачивать.

А что, если в материальном мире вообще нет *абсолютного* понятия того, что есть семантика или смысл информации? Ведь объективно существует только материя той или иной природы и закономерности проявления её свойств. Иными словами мир *бессмысленен!* Он такой, какой есть и не более того. Это мы через призму своего восприятия наделяем его смысловым содержанием, причём, каждый своим. Следовательно, смысл информации всегда *субъективен*.

Приходим ко второму фундаментальному наблюдению природы информации:

**Смысл или семантика информации всегда абсолютно относительны системы, накапливающей её.**

Т.е. смысл рождается только с появлением системы, способной его интерпретировать. А значение *смысла* информации для системы, в конечном итоге, определяется относительно её природы, тоже системы, но уже физической. Чтобы система имела возможность интерпретировать информацию она должна, помимо органов чувств, обладать ещё и способностью как-то в себе её сохранять, т.е. *памятью*. В противном случае воспринятая сенсорами информация, проходя сквозь систему, ни с чем бы не коррелировала и была бы абсолютно прозрачной для неё. Иными словами не было бы возможности производить необходимый отбор.

Ведь мы же не ощущаем и не распространяем, к примеру, ультразвук или радиоволны. У нас нет специальных органов чувств, дающих нам представление о распространении ультразвука или радиоволны в пространстве. А таковые существуют в природе, но информации нам не несут. Это стало возможным лишь с изобретением другой транзитной системы радио.

То, что может вызывать отклик одной системы, может оставаться абсолютно прозрачным для другой.

Герман Хакен в своей работе [3] вводит понятие *относительной значимости* сигналов (квантов информации), как способности вызывать отклик системы или изменение её состояния.

В биологии на элементарном уровне механизмом определения этой значимости становится степень корреляции сигналов нервной системы со своим «отображением» в генотипе. К примеру, если закрыть глаза, а в этот момент нас кто-то погладит по спине, то мы не будем видеть и понимать кто, зачем и почему, но однозначно определим ласку. Ощущение приятного, сформированное нервной системой, совпадёт с тем представлением ласки, которое несёт в себе генотип. Это то мы и поймём и адекватноотреагируем. Аппроксимируем это на все наши чувства.

Вспомним о вариантах исхода, дающих многообразие сочетаний. Из сочетания элементарных ощущений складываются их последовательности символы, а из последовательности символов их системы. Из систем символов другие символы и т.д. А взаимодействие всего этого и рождает *смысл* в нашей интерпретации. Теперь понятно, по какому пути должна пройти корреляция, чтобы выкри-

сталлизовать из информации смысл! Она как бы скользит по основаниям символьных систем, синтезируя смысл. И этот смысл упирается в специфику ощущений. Это огромная и сложная пирамида символьных систем, в основании которой находится наша природа.

Поэтому я не разделяю оптимизма некоторых авторов относительно того, что компьютеры или ещё какие технические системы смогут в будущем обладать такими же чувствами и эмоциями, как и человек. Имитировать возможно, но ощущать никогда! Для этого они должны будут обладать точно такой же физиологией, что и мы. Правда, это не делает их сколь-нибудь ущербными в этом плане. Обладая своим специфическим набором сенсоров и подобием «искусственного генотипа», они, наверное, смогут ощущать то, что никогда не доведётся пережить нам.

Генотип каждого вида представляет собой своеобразную уникальную *формальную систему* со своим алфавитом, формулами, аксиомами и теоремами. Физическим воплощением этой формальной системы является строение организма и специфика его функционирования.

Попытаемся образно понять, как функционирует в информационном плане биологический организм.

В целом управляет жизнедеятельностью организма центральная нервная система (ЦНС), осуществляющая взаимосвязь между всеми органами и превращающая всё это в единый слаженный биологический механизм. ЦНС это физиологическая структура из специальных биологических тканей, состоящих из сплетения особого вида клеток *нейронов*. Память в такой сети реализуется накоплением концентраций соответствующих химических веществ в пространстве межсинаптических связей нейронов. В настоящее время физиология и биохимия таких тканей достаточно хорошо изучена. Построена формальная математическая модель составляющих этой ткани и созданы её технические аналоги, носящие название *искусственных нейронных сетей*.

Представим себе абсолютно пустую комнату. Это некоторое однородное симметричное пространство, объективно существующее вне зависимости лично от нас. Зайдём во внутрь. Пространство сразу поменяло свою структуру и стало неоднородным теперь внутри себя оно содержит нас. Сами собой мы уже являем информацию! Своим присутствием (телом) мы воздействуем на пространство, а в ответ его осязаем, т.е. видим, слышим и т.д. Иными словами: воздействуя ощущаем. Мы и пространство (среда) составляем замкнутый *контур*, в котором по отношению друг к другу находимся в обратной связи. Все изменения в пространстве мы ощущаем и как-то реагируем. А значит можем и влиять друг на друга. Очевидно, что контур, звеньями которого являются элементы с нелинейными характеристиками, образует *нелинейную* систему, а изменчивость среды предопределяет её динамичность, причем, среда здесь *ведущая*.

Из курса теории автоматического управления известно, что процессы, происходящие в подобных нелинейных динамических системах с обратными связями, описываются дифференциальными уравнениями. Следовательно, эти системы автоматически попадают в область интересов такой науки как *синергетика*<sup>2</sup> [4], изучающей свойства явлений самоорганизации в динамических системах. А нервная система и мозг живых существ являются именно такими системами.

От природы человек наделен определённым спектром способностей что-либо ощущать: это зрение, слух, обоняние, вкусовые качества, тактильные ощущения различного рода и, конечно же, присущее нам мышление. Каждому типу ощущения соответствуют специальные органы чувств (сенсоры), сформировавшиеся в длительном процессе эволюции у всех видов живых существ. Каждый орган чувств имеет своё назначение и обладает своей определённой функциональной характеристикой, определяемой спецификой строения и скоростью протекания биохимических процессов в тканях. Конечная скорость химических процессов приводит к появлению определённого интервала времени в последовательности между «соседними» ощущениями. Иными словами сознательная жизнь для нас протекает *дискретно*, а её темп задаётся совокупной постоянной времени процессов в организме.

ЦНС, сенсоры, моторные органы и внешняя среда образуют *сложный* замкнутый контур, состоящий из целого отдельных контуров по каждому виду ощущений и многочисленных рефлекторных дуг, охватывающих внутренние органы [5]. Структура взаимосвязей между этими цепями детерминирована и сформирована самой эволюцией вида. Подобная система, как и почти любая другая, всегда стремится прийти в асимптотически устойчивое состояние, характеризующееся минимумом потенциальной энергии. Следовательно, каждый её контур носит характер цели *отрицательной* обратной связи. Так как общим звеном для всех контуров является сама ЦНС (нейронная сеть), то лю-

<sup>2</sup> Альтернативное название дисциплины динамика сложных систем.

бое изменение в каком-либо отдельно взятом контуре вызывает автоматическое изменение состояния некоторых других, что в свою очередь приводит к непрерывной цепи дальнейшего изменения состояния всего комплекса.

Находясь в конкретный момент времени в конкретной точке пространства, мы испытываем совершенно *уникальный* набор своих ощущений или *вектор ощущений*. Мгновенное состояние всей системы можно охарактеризовать вектором *текущих* ощущений, а вектор, относительно которого происходит «перенастройка» системы по соответствующему контуру, считать в нём *целевым*.

Обладая памятью, мы способны запоминать свои ощущения и их последовательности. Вернувшись в ту же точку через некоторое время, повторно испытаем похожие ощущения, но не идентичные изначальным. Понятно, прошло время, изменилось состояние физиологических процессов в организме, мы стали другими постарели. Могли измениться за это время и какие-либо характеристики пространства. В этом случае можно говорить только о степени схожести ощущений, т.е. о *корреляции* их векторов.

Пусть мы пришли к мысли о необходимости переместиться в пространстве из пункта **A** в пункт **B**, где уже бывали ранее. У нас есть вполне определённые ассоциации, связанные с пребыванием там и мы помним путь. Возникает побуждение. Центральная нервная система образует в этой задаче замкнутый контур: вектор текущих ощущений вектор желаемых. Мы видим, слышим, чувствуем, что находимся сейчас не в пункте **B**. Наши текущие ощущения (вектор *A*) и ассоциативные ощущения пребывания в пункте **B** (вектор *B*) не совпадают. ЦНС начинает вырабатывать управляющие сигналы нашим моторным органам, и мы приходим в движение. Поскольку, мы уже бывали в пункте **B** и помним в комплексе всю динамику своих ощущений от изменения ландшафта, запахов, звуков, изображения по пути, то ЦНС, сравнивая на каждом шагу наши текущие ощущения и целевые, будет динамически формировать программу управляющих сигналов по когда-то ассоциативно усвоенной закономерности. И так до тех пор, пока не придём в пункт **B**. Попав туда, достигаем своей цели. Контур текущие желаемые ощущения будет уравновешен и потеряет свою актуальность. Если к тому моменту не возникнет новых побуждений, то мы так и останемся стоять на месте. Может случиться, что мы не попадём в пункт **B**. Где-то по дороге, исходя из каких-то других соображений, возникнет другая более приоритетная задача. Первый контур будет разорван доминирующим новым, прежняя задача «снята» и мы отправляемся по совершенно другой программе.

Работа подобных систем будет ещё больше понятна тем, кто хоть раз пытался научиться вождению автомобиля. Достаточно вспомнить свои первые опыты вождения. Как с визгом трогались с места, лихо тормозили, а двигатель глох через каждые три метра. Сев первый раз за руль автомобиля, мы образовали замкнутый контур посредством наших органов чувств, центральной нервной системы, исполнительных органов и находящийся по отношению к нам в цепи внешней обратной связи такой довольно сложной системы, как автомобиль плюс окружающее пространство. Не имея ни малейшего понятия о том, как управлять автомобилем мы, разумеется, не могли бы сразу же воспроизводить адекватное управляющее воздействие на автомобиль и достичь поставленной перед собой цели перемещения в пространстве. Незнание необходимой управляющей закономерности и приводило нашу вновь образовавшуюся систему *человек машина* к столь специфичным эффектам. Лишь преследуя определённую цель и чувствуя реакцию машины на наше поведение (ощущая инерцию, слушая шум двигателя, видя своё перемещение по отношению к окружающим предметам), после нескольких итераций привыкаем к этому «куску железа». Усвоив необходимую функциональную зависимость *воздействие реакция*, мы приобрели знание, как управлять автомобилем, образовав с ним единую, хорошо слаженную систему. Сев за руль в другой раз, нам не придется учиться заново, память подскажет что делать.

В общем *основой* нашего разумного поведения является способность чувствовать и запоминать, причем память хранит не образы объектов, а функциональные зависимости изменения ощущений во времени. А ведь объекты мы *именно* ощущаем. Время мы меряем совокупной динамикой своих ощущений. Так появляется относительное *биологическое время*, индивидуальное для каждого вида. Каждое живое существо *ощущает* все изменения в пространстве и реагирует на них. Воздействуя сенсорами на пространство, оно посредством их постоянно извлекает информацию о состоянии окружающей среды вокруг себя. Аналогичным образом организм получает информацию и о своём собственном состоянии. На основании всей совокупности этой информации живым существом принимаются жизненно-важные решения и формируется поведенческий акт.

Выдающийся нейрофизиолог академик П. К. Анохин в результате своих многолетних исследований пришел к важнейшему выводу и доказал, что любая живая система, а тем более высокоорганизованная, обладает свойством *формировать* свои потребности в получении конкретного результата или *самой себе* ставить цель уже в самом начале формирования поведенческого акта [7, 8], т.е. поведенческий акт *рекурсивно* задаётся побуждением или целевым вектором.

Например, у животного имеются естественные природные потребности. Его нервная система, реагируя на физическое состояние биохимических процессов организма в данный момент, формирует реакцию или побуждение целевой вектор, скажем вектор голода. Делает его активным или доминирующим в соответствующем контуре ЦНС и животное *ощущает* голод. С этим вектором оказывается ассоциативно связанной целая цепочка векторов ощущений или унаследованная с генотипом, или усвоенная в раннем возрасте на примере родителя, или приобретенная им по жизни на собственном опыте: опознать пищу (жертву) догнать поймать съесть. Эта цепочка, в свою очередь, также состоит из других целевых векторов своеобразных микроинструкций и т.д. Одиночно, группами, поочередно или параллельно весь этот комплекс целевых векторов становится активным в соответствующей системе контуров, замыкая существующие цепи обратных связей с внешней средой, а дальше дело автоматике по полной программе обработать своё.

Неправда ли, чем-то это отдалённо напоминает работу машины Тьюринга? Только здесь лента это окружающая среда, считывающая головка сенсоры, а внутренний алфавит пространство состояний системы, динамически формируемое в зависимости от скорости изменения состояния самой ленты (информационный процессор с переменной системой команд). Подобный процессор, как и машина Тьюринга, не даёт представления об объеме и степени сложности обрабатываемого кода, т.е. об уровне организации поведения, но, как и последняя является основой построения всех процессоров, может представлять механизм его осуществления.

В техническом плане реализовать этот механизм возможно с помощью систем *рекуррентных* нейронных сетей, и лучше всего для этой цели подходят различной конфигурации сети Хэмминга, Хопфилда и АРТ [9, 10, 11]. В математической модели нейронной сети память реализуется посредством набора определённых значений весовых коэффициентов матрицы синаптических весов. При образовании комплекса замкнутых контуров через систему внешней среды нейронная сеть становится способной извлекать из неё её характеристики, спецификация которых определяется спектром сенсоров. Этот процесс носит название *интерполяции* и суть его буквально в следующем.

Пусть дана в пространстве некоторая произвольная вектор-функция от векторного аргумента  $f(x)$ . Подав на входы необученной сети последовательность значений аргумента  $x$ , априорно получим произвольный отклик этой сети. Вычисляя ошибку (разность между откликом сети и значением  $f(x)$ ), можно итеративным обучением скорректировать поведение нейронной сети таким образом, что на каждое значение  $x$  сеть будет воспроизводить значение  $f(x)$ . Сеть приобретёт память о закономерности  $f(x)$ .

Это и делает каждый раз центральная нервная система. В процессе осуществления поведенческого акта ЦНС, как нелинейная динамическая система, итеративно выполняя параметрическую оптимизацию по контуру отрицательной обратной связи, стремится уравновесить выход со входом и минимизировать разность между «желаемым» и «ощущаемым», приводя тем самым контур в энергетически выгодное состояние. При этом в системе сохраняется *история* памяти о пути, по которому происходило уравнивание.

Уравнивание происходит посредством корректировки значений синаптических весов матрицы, несущей в себе  $n$ -мерное векторное пространство переменных состояния (ощущений) системы. В процессе итерационного обучения или корректировки весов это пространство приобретает некоторую структуру или *пространственную неоднородность*, которая однозначно соответствует функциональной закономерности проявления свойств цепи обратной связи. Происходит *отображение* свойств внешней части цепи во внутреннее пространство состояний системы в форме нарушения симметрии последнего, т.е. в системе возникнет *информация!* Это отображение будет столь же объективно, как и сама реальность. Понятно, что априорно пространство состояний должно быть *изотропным* (однородным), а матрица значений синаптических весов заполнена одинаковыми значениями или в худшем случае хаотично.

После разрыва и исчезновения контура обратной связи система в тривиальном случае навсегда сохраняет память о нём. Но достаточно будет снова восстановить этот контур, ввести в него целевой

вектор, нарушив этим баланс, и система автоматически и в точности обработает сохранённую закономерность, пытаясь «прийти» к глобальному минимуму по уже известному пути.

В этом случае можно говорить, что система наделена знаниями относительно внешней среды, т.е.:

**Понятие знания** появляется в случае возникновения самодостаточной системы, являющейся частью материального мира и способной осуществлять *отображение объективной реальности в виде информации во внутреннем пространстве состояний путём изменения качественных и/или количественных характеристик последнего. Внутренняя информационная структура системы, сформированная таким образом, и есть знания.*

Чтобы экстрагировать знания из чего-либо, необходимо каким-то образом контактировать с этим, а именно: иметь *средство контакта* и находиться в *обратной связи*.

Познание закономерностей объективного мира позволяет выявлять связи между его свойствами или объектами. Сформированное таким образом отображение окажется *контекстно-зависимым* по отношению к целевому вектору, относительно которого происходило уравнивание системы по контуру. Множество этих отображений и их взаимная контекстная зависимость образуют информационное пространство, заданное над полем отображений свойств реального мира или *концептов* по Фреге, составляющих базис этого пространства. И речь тут уже идёт о необходимости *осмысленного* формирования пространства состояний, являющегося *носителем* информации в системе. Модель механизма динамического формирования контекстно-зависимых последовательностей или *образующих групп* векторов, а следовательно и значений весовых коэффициентов матрицы, призвана дать нам *синергетику*.

Процесс смыслового означивания последовательностей символов в системе имеет сложную природу и представляется дифференциальным уравнением, но упрощенно пространство решений может выглядеть *примерно* так.

Вернёмся к понятию *элементарные смысловые координатные системы* в примере с ракообразными и возьмём из него два термина: “вправо” и “вперёд”. Если не считать, что для нас они оба обозначают направления в пространстве, то, что их объединяет? Ничего. При нашей оговорке они не имеют никакого взаимного смысла. Это два ничем не связанных вербальных символа. А что они обозначают в действительности? Два понятия, «перпендикулярные» по смыслу относительно только нашего тела.

$N$ -мерное векторное пространство образуется системой из  $n$  линейно независимых или взаимно ортогональных векторов (*ортов*). Пусть два из них это наши термины. Поскольку в пространстве состояний сети их векторы перпендикулярны и не имеют взаимных проекций, то в смысловом поле они окажутся совершенно независимыми понятиями. Введём ещё один термин или вектор, обозначающий понятие “движение”. Причём так, чтобы все три вектора были ортогональны, т.е. *абстрактны*. Теперь вектор в этом пространстве, имеющий свои проекции на оси векторов “движение” и “вправо”, будет означать в смысловом поле абстрактное понятие “движение вправо”. А так как нейронная сеть представляет собой своеобразное тело системы, то относительно него выстраивается тривиальная смысловая система координат, в которой понятия “движение”, “вправо”, “вперёд”, и соответственно, “влево” и “назад” приобретают совершенно *определённое* значение.

Разовьём эту мысль глубже. Пусть три ортогональных вектора в пространстве обозначают три абстрактных понятия, таких как “чашка”, “кофе” и “содержать”. Линейной комбинацией строим вектор означающий понятие: “чашка”-“содержать”-“кофе” или “кофе”-“содержать”-“чашка” или “кофе”-“чашка”-“содержать” и т.д. Введём в это же пространство ещё одну элементарную смысловую систему координат, определяющую такие «ортогональные» понятия как “подлежащее”, “сказуемое” и “дополнение”. Развернём в пространстве координатные системы так, чтобы вектор теперь определял действительную синтаксическую конструкцию нашего естественного языка: “чашка-содержать-кофе”. Введя ещё несколько контекстно-координатных векторов или их систем и сориентировав их между собой определённым образом, можно обозначить и кто кого может “содержать”.

Получается контекстно-зависимая грамматика, только вместо символов и терминальных цепочек здесь векторы. Причём векторы, которые в одних координатах обозначают абстрактные понятия, в других могут нести совершенно конкретное значение и иметь соответствующие отображения на векторы других понятий. Величина этих отображений и будет задавать относительную значимость.

В нейронных сетях это означает некоторую обратную задачу векторной кластеризации или классификации. Образовывая в пространстве матрицы синалтических весов подпространства или

элементарные координатные системы *символов* и ориентируя их соответствующим образом на определённые углы относительно друг друга, посредством взаимных проекций задаём их относительное смысловое значение в общем *смысловом поле* системы, производящей разложение синтаксических конструкций векторного языка в линейную комбинацию абстрактных векторов. И если при этом для полного синтеза всего объёма языка не хватает *n* измерений возьмём *m*.

Наконец, представим, что реально эти элементарные смысловые координатные системы могут образовываться не из одиночных векторов, а из целых *групп* и последовательностей векторов наших *ощущений*, взаимная ориентация которых формирует наше смысловое поле. Это поле есть не что иное, как смысловой непериодический аттрактор<sup>3</sup>, т.е. *фрактал*! А сама последовательность векторов ощущений является дискретным отображением Пуанкаре в фазовом пространстве состояний системы по соответствующему контуру обратной связи.

Подобные информационные структуры семантические фракталы в зависимости от уровня детализации могут нести в себе и различную *степень* детализации поведения живого существа, быть огромными по длине, ветвящимися и формироваться динамически. В функциональных зависимостях ощущений фрагментно могут обнаруживаться корреляции отдельных участков, что даёт возможность механизму ассоциативной памяти редуцировать (сокращать) информационное пространство. Так из частных выделяется общее, и информационная структура приобретает иерархичность или древоподобность, в конечном итоге, превращаясь в многомерную «фрактальную паутину».

Свойства и качество этих структур напрямую зависят от уровня и сложности организации центральной нервной системы животного существа. Вероятно, качественная сторона структуры и определяет *интеллект* индивидуума, а физиология способности к нему. В каком направлении по цепи этой структуры поведёт себя живое существо на пути к своей цели предопределяют среда, память и, наверно, случай.

В жизни мы не общаемся и не передаём информацию посредством векторов или весовых коэффициентов. Это просто неудобно. Для этого у нас есть свои транзитные вербальные и невербальные символичные системы, такие как жесты, речь и письменность. Хотя, кто знает, что нам век грядущий уготовит. Эти системы также имеют своё отображение в нашем общем смысловом поле. Выражая посредством *денотата* свои мысли, мы обмениваемся содержанием лишь небольшой части этого поля, которая остаётся *относительной* ко всему остальному. Так появляется *текст* информации и её *контекст*. Понятно, что для обмена и адекватной интерпретации передаваемой информации смысловые аттракторы систем должны большей частью совпадать, т.е. последние должны иметь или общую *природу* и/или общую транзитную систему, отображающую состояния одной системы в состояния другой (переводчика).

Конечно же, модель поведения ходячей информационной системы в примере с перемещением из **A** в **B** весьма примитивна, свойственна, в основном, не высокоорганизованным видам и особой ценности не представляет. Как быть с высокоинтеллектуальным поведением или, к примеру, с интуицией или присущим человеку столь хорошо развитым абстрактным мышлением?

А кто сказал, что мышление организуется не через шестое чувство? Мы осязаем, мы чувствуем мысль. Только обратные связи ЦНС в этом случае замыкаются не через окружающее пространство, а локально, внутри системы, заставляя её блуждать в лабиринте своего собственного информационного пространства, извлекая закономерности из самой себя! (Data Mining?). Можно сказать, что мы «думу думаем». И мыслим мы своими ощущениями.

Находясь в постоянном контакте с окружающей средой, своими сенсорами мы крепко вплетены в неё и в совокупности являем одно единое целое, а весь спектр наших ощущений, их динамика и сочетания синтезируют нам полную и ясную картину внешнего мира. С самого рождения и в процессе всей жизнедеятельности своими побуждениями мы замыкаем через свою ЦНС огромное количество обратных связей с внешней средой и извлекаем из окружающего пространства необходимые нам закономерности, тем самым, накапливая знания. Последние, в свою очередь, как побуждения используем для достижения своих целей или удовлетворения потребностей.

Убеждён, что жизнедеятельность организма и функционирование центральной нервной системы организуется наличием многочисленных петель обратных связей между отделами мозга, замыкаемых локально или посредством сенсорных и моторных органов через внешнюю среду. Часть из

<sup>3</sup> От английского to attract (притягивать). Область фазового портрета пространства состояний системы, характеризующаяся свойством асимптотической устойчивости определённых решений.

них статична, другая формируется динамически. Иначе бы как такая, столь медленнодействующая субстанция, как нервная ткань, могла бы «на лету» выполнять многопараметрическую оптимизацию и решать громадные системы дифференциальных уравнений с гигантским числом переменных и ограничений. Наличие отрицательных обратных связей в системе обеспечивает сходимость решений к асимптотически устойчивым аттракторам. Это быстрое и эффективное нахождение решения по каждому контуру отдельно, в общем стремящееся привести систему в состояние с минимальной потенциальной энергией. Огромное же количество векторов состояний в столь же огромном количестве контуров и их взаимная контекстная зависимость образуют бесконечные, ветвящиеся и циклически замкнутые последовательности этих состояний, т.е. непрерывный параллельный процесс.

А не сознание ли это? И что тогда такое матрица синаптических весов, несущая на себе всю информационную нагрузку? Не эквивалент ли это души, однозначно определяющий индивид с его гено- и фенотипом?

Если на эти вопросы дать положительные ответы, то на вопрос «Что есть мы?» уже отвечать, почему-то, не хочется.

Проблема интеллекта и синтеза «разумных» информационных систем некоторым образом вытекает из фундаментальных понятий существования самой материи, образования во Вселенной галактик и планет. И рассматривать эту проблему необходимо только в контексте всех тех процессов и физических систем, породивших этот интеллект. Ибо возникновение и развитие жизни на планете является лишь закономерным проявлением свойств материи. И особого смысла искать в этом не стоит так повелось.

Благодаря наличию всего состава таблицы Менделеева и гигантского миксера под боком Солнца, появление флоры и фауны на Земле было предопределено. На острие стихий, движимая ритмами и бесчисленными новациями в системе третьей от Солнца планеты, материя всегда принимала в её условиях наиболее устойчивую форму. Те же циклы и случайность, являясь и критериями отбора, провели её по всему пути эволюции от самого зарождения органической жизни до настоящего времени. И этот процесс продолжается. Жизнь подобна плесени на поверхности планеты, и возникает везде, где в тесном контакте сосуществуют *многообразие, регулярность и случайность*.

Процессы, происходящие в биосфере Земли, достаточно точно описываются с помощью систем дифференциальных уравнений. Поскольку на нынешнем этапе господствующий вид и остальная фауна являются конечными продуктами процесса эволюции, то они не составляют исключение. Если выйти за рамки идеалистического восприятия мира или позиции социальной единицы, то жизнедеятельность биологических организмов независимо от уровня организации можно в общем случае свести к комплексу процессов автоматического регулирования с *адаптацией* и многокритериальной оптимизации. И описывать их функционирование системами интегрально-дифференциальных уравнений, учитывающих всю предысторию существования организма [12].

А, имея четкую математическую модель, можно «по образу и подобию» строить новые технические нейроинформационные системы. Снабдив входы и выходы структурированной искусственной нейронной сети соответственно сенсорами и исполнительными устройствами, получим некоторое подобие живого, т.е. самодостаточную систему искусственного происхождения, имеющую иную природу и способную самостоятельно накапливать знания и принимать решения.

И прав был великий классик<sup>4</sup>, утверждавший, что все процессы в природе сводятся к нахождению некоего экстремума, характеризующегося минимумом потенциальной энергии в системе. А ведь природа и цель такой оптимизации могут быть разными. По сути, весь жизненный путь организма это поиск решения и адаптация в целях выживания. И так случилось, что эволюция наделила наш вид соответствующим интеллектуальным аппаратом, сделавшим возможным выполнять это на совершенно ином уровне, изучая и используя в своих целях законы мироздания.

Может сложиться обманчивое впечатление, что создание искусственного (в прямом смысле этого слова) интеллекта уже дело техники. Но ведь каждой точкой своего тела мы воздействуем на пространство и ощущаем что-либо. Это миллиарды сенсоров! А их сочетаний?! А  $10^{11}$  нейронов головного мозга? А  $10^{14}$  их коммуникаций? И какова теперь мощь машины познания!

Помимо масштаба систем и сложности технологии их воплощения есть ещё ряд других серьёзных и принципиальных вопросов, решение которых является задачей ближайшего будущего. Прежде всего, к ним относится проблема создания модели *формальной системы* и построения соответ-

<sup>4</sup> Карл Фридрих Гаусс 1777-1855 г.

вующей ей *топологии* нейронной сети. Если в решении последней могут частично помочь исследования в области нейрофизиологии, то с первой дело обстоит сложнее. Для живых биологических организмов естественной формальной системой является генотип, информацию о котором несёт в себе сложная биохимическая структура *геном*, полностью ещё не познанная.

Что делать в таком случае в технике? Где взять этот BIOS<sup>5</sup>, относительно которого система, «оживши», начнёт постигать реальность?

Можно взять за основу уже существующие уникальные наработки классификаций из области *онтологий*. Начиная с метауровней, развернуть всё в векторное смысловое пространство системы. Снабдить её сенсорами и моторными органами, связать всё между собой, включить и посмотреть, что получится. Или предоставить системе это всё связать. Остаётся ещё разобраться в самом геноме...

Очевидно, трудно будет за относительно короткий промежуток времени, даже такой, как жизнь нескольких поколений, в полупроводнике или ещё как-либо полностью воссоздать то, что природа создавала и шлифовала миллионы лет. А цена этого созидания? Да и нужно ли это. Если хотим создать нечто, очень похожее на нас, то, быть может, проще родить на свет нового человека?

А вот в науке и технике, ограничившись узким кругом специальных задач и сосредоточив свои усилия в определённых направлениях, *возможно и нужно* уже сейчас создавать столь необходимые «разумные» системы, в которых вычислительный процесс будет заменён пусть примитивным, но всё же уже мыслительным. А время само приблизит плоды стремлений к совершенству венца творения.

Подводя итог рассуждениям, сделаем некоторые обобщения и с этих позиций определим пути создания таких систем, которые, возможно, предопределят в будущем скорость появления уже развитых образцов. А именно:

- построение формальной системы («искусственного генотипа») BIOSa;
- освоение технологии производства высоко интегрированных нейрочипов различных видов;
- как более дешёвая альтернатива этому, развитие традиционных параллельных вычислительных архитектур, прежде всего, для решения *регулярных* задач [13];
- разработка широкого спектра специфических датчиков (сенсоров) и интерфейсов к ним;
- то же относится и к исполнительным устройствам;
- разработка внешнего транзитного интерфейса *человек машина и машина машина*;
- формирование философских и морально-этических концепций и аспектов нового интеллекта;
- и, наконец, стандартизация всего этого.

Так нашими «молитвами» на стыке нескольких научных направлений: искусственных нейронных сетей, нейрофизиологии, синергетики и традиционного искусственного интеллекта можно в недалёком будущем ожидать появления принципиально иных интеллектуальных информационных систем нового типа.

[alex\\_shevchenko\\_ua@hotmail.com](mailto:alex_shevchenko_ua@hotmail.com)

**Список литературы:** 1) Г. Николис, И. Пригожин. Познание сложного. Введение: Пер. с англ. М.: Мир. 1990. 344с., ил. 2) К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. Пер. с англ. С предисл. А.Н. Колмогорова. М.: Ин-издат. 1963. 829с. с черт. 3) Г. Хакен. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. М.: Мир. 1991. 240с., ил. 4) Г. Хакен. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах: Пер. с англ. М.: Мир. 1985. 423с., ил. 5) К. Прибрам. Языки мозга. Экспериментальные парадоксы и принципы нейропсихологии. Пер. с англ. М.: Прогресс. 1975. 464с., ил. 6) В.Д. Цыганков. Вселенная Хокинга и нейрокомпьютер. Серия «Информатизация России в XXI веке». М.: Синтег. 2000. 84с. 7) В.Д. Цыганков. Нейрокомпьютер и мозг. Учебное пособие. Серия «Информатизация России в XXI веке». М.: Синтег. 2001. 248с. 8) П.К. Анохин. Теория функциональной системы. //ж-л. Успехи физиологических наук. Том.1. №1. 1970. 9) Ф. Уоссермен. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М.: Мир. 1992. 10) И.В. Зенцов. Нейронные сети: основные модели. Воронеж. Изд. ВГУ 1999. 11) Р. Каллан. Основные концепции нейронных сетей.: Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. 288с., ил. 12) Р. Беллман. Процессы регулирования с адаптацией. Пер. с англ. М.: Наука. 1964. 360с., ил. 13) М. Амамия, Ю. Танака. Архитектура ЭВМ и Искусственный Интеллект. Том.5: Пер. с япон. М.: Мир. 1993. 397с., табл., ил.

Поступила в редакцию 13.09.2002

<sup>5</sup> Базовая система ввода-вывода (Base Input Output System) хранимый в постоянной памяти вычислительной системы базовый программный модуль, выполняющий обслуживание аппаратных прерываний и осуществляющий при запуске автоматическое тестирование оборудования и инициализацию начальной загрузки операционной системы.

УДК 519.95:612.018

С. С. ЛАПТА

## ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДЕКВАТНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПТТГ

Пероральный тест толерантности к глюкозе (ПТТГ), согласно рекомендациям комитета экспертов Всемирной организации здравоохранения по сахарному диабету [1,2], является основным тестом для диагностики состояний пациента.

Сахарный диабет (СД) – тяжелое эндокринное заболевание, которым страдает около 4% населения. Обусловленный необратимыми нарушениями в механизме регуляции уровня глюкозы в крови, он проявляется хронической гипергликемией. К СД вплотную примыкают еще чаще встречающиеся не столь значительные отклонения от нормы в регуляции углеводного обмена, называемые нарушениями толерантности к глюкозе (НТГ).

В норме уровень глюкозы в капиллярной крови натощак составляет  $g_b = 60 - 100 \text{ мг}\%$  (60–100 мг глюкозы на 100 мл крови), повышаясь ненадолго после еды до  $160 \text{ мг}\%$  (в лабораторных условиях значение гликемии часто определяется не в цельной крови, а в ее плазме, где оно выше на 10-15%). В дальнейшем будем использовать среднее значение базального уровня гликемии  $g_b = 80 \text{ мг}\%$ .

Стандартный ПТТГ [3] состоит в измерении уровня глюкозы в крови натощак, и затем, после приема внутрь глюкозной нагрузки в 75 г, еще несколько раз с интервалом в полчаса. В норме содержание глюкозы в крови через два часа после нагрузки не должно превышать  $120 \text{ мг}\%$  (рис.1, на котором приведена типичная нормальная кривая ПТТГ, построенная в соответствии с клиническими справочными данными [3]). Сахарный диабет диагностируют, если уровень гликемии натощак составляет не менее  $120 \text{ мг}\%$ , а два часа спустя –  $200 \text{ мг}\%$ .

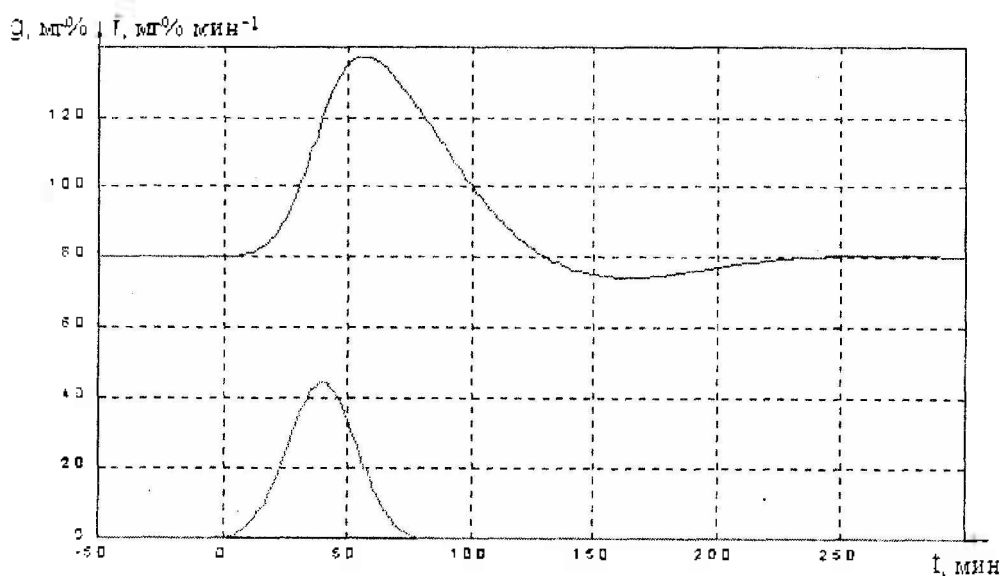


Рис. 1

Как СД, так и НТГ легко диагностируются по базальному уровню гликемии и по гликемическим показателям ПТТГ, но лишь грубо, с точностью до трех классов состояний: норма, сахарный диабет и промежуточное между ними состояние – НТГ.

В норме проведение ПТТГ не имеет клинического смысла, а при явных проявлениях сахарного диабета – противопоказано. Его целесообразно использовать с целью ранней диагностики СД лишь в промежуточном случае НТГ. Однако непосредственно измеряемые при проведении теста отдельные гликемические показатели оказались непригодны для тонкой дифференциальной диагностики НТГ, поскольку количественные различия между ними внутри этого класса являются незначимыми. Таким образом, в настоящее время анализ данных ПТТГ является малоинформативным, по сути лишь под-

тверждающим выводы, сделанные на основе базального значения гликемии. Поэтому основные надежды по созданию методов ранней диагностики СД теперь стали связывать с разработкой сложных модифицированных глюкозотолерантных тестов с измерением помимо гликемии уровней инсулина и С-пептида в крови [4]. Однако возможности этих тестов еще не вполне выяснены. Из-за сложности их проведения, высокой стоимости соответствующей аппаратуры и ее эксплуатации они применяются пока только в исследовательских программах в высокоразвитых странах.

Альтернативным направлением для достижения дифференциальной диагностики НТГ является построение математической модели углеводного обмена, настраиваемой по гликемическим данным ПТТГ, и использование значений ее параметров в качестве диагностических критериев. Такая идея и первые попытки ее реализации появились около сорока лет тому назад [5]. Большинство моделей, предложенных для этой цели ранее, представляют лишь исторический и методологический интерес. Они отличаются механистическими упрощениями и стремлением охватить сразу, как можно больше компарментов организма, не обеспечив должной физиологической адекватности в простейшем случае одного компартамента. Наиболее эффективной, реально работающей математической моделью ПТТГ является простая однокомпарментная модель для динамики отклонения  $y(t)$  уровня глюкозы в крови  $g(t)$  от его базального значения  $g_b$ , предложенная нами в работе [6] и обобщенная позже [7]:

$$\begin{aligned} y'(t) &= (1 - \alpha)f(t) - \beta^{\mp} y(t - \tau^{\mp}) - \gamma Es(y(t - 1) + g_b - g^*), & t \geq 0, \\ y(t) = \phi(t) &= 0, & -\tau \leq t < 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь индекс "-" берется при положительных значениях функции  $y(t)$ , а "+" при ее отрицательных значениях, в соответствии с направлением изменения динамики уровня гликемии при этом,  $Es(z) = ze(z)$ , где  $e(z)$  - единичная функция Хевисайда,  $f(t)$  - интенсивность поступления в кровь экзогенной глюкозы, которая была представлена в работе [6] центральной частью гауссовой кривой (рис. 1):

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

где  $2a$  - время процесса поступления в кровь экзогенной глюкозы,  $\sigma^2$  - дисперсия,  $Q = 1567 \text{ мг}\%$  - величина, практически равная дозе или иначе количеству поступившей экзогенной глюкозы в пере-

счете на 100 мл крови -  $D = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1500 \text{ мг}\%$  (небольшое отличие между ними связано с тем,

что мы используем не полностью всю гауссову кривую, определенную от минус до плюс бесконечности).

Модель (1) учитывает все основные физиологические процессы, регулирующие углеводный обмен, характеристиками которых являются параметры:  $\alpha$  - коэффициент интенсивности утилизации глюкозы, контролируемой инсулином, при ее экзогенном поступлении,  $\beta^{\mp}$  - параметры интенсивности обратной отрицательной гормональной связи в системе регуляции уровня глюкозы в крови,  $\tau^{\mp}$  - время запаздывания в этой системе регуляции, обладающей инерционностью, которое хорошо описывается 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 постоянные,  $\beta^{\mp}$  и  $\tau^{\mp}$  - коэффициент интенсивности и время запаздывания в гипогликемической регуляции, осуществляемой инсулином при гипергликемических отклоне-

ниях уровня глюкозы в крови от базального значения  $g_b$ ,  $\beta^+$  и  $\tau^+$  – коэффициент интенсивности и время запаздывания в гипергликемической регуляции при гипогликемических отклонениях, осуществляемой контррегуляторными гормонами в процессах гликогенолиза и глюконеогенеза,  $\gamma$  – параметр, характеризующий интенсивность глюкозурии при превышении концентрации глюкозы в крови почечного порога реабсорбции  $g^* = 170 \text{ мг\%}$ ,  $\phi(t)$  – начальная функция.

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

$$y(t) = \int_0^t \left[ (1 - \alpha) f(s) - \beta^+ y(s - \tau^+) - \gamma E s (y(s - 1) + g_b - g^*) \right] ds \quad (3)$$

Интеграл в правой части формулы (3) вычисляется с помощью квадратурной формулы. Согласно данному алгоритму была составлена программа вычислений, по которой на ПЭВМ проводится численный анализ. В процессе численных экспериментов методами идентификации математических моделей находят числовые значения параметров задачи, соответствующие клиническим гликемическим данным. Эти параметры имеют конкретный физиологический смысл, численные значения каждого из них определяют вид гликемической кривой на соответствующем ее участке. Величина параметра  $\alpha$ , второго по важности после базального значения уровня гликемии в диагностике состояния механизма регуляции углеводного обмена, определяет максимум посталиментарного подъема уровня глюкозы в крови. Очевидно, этот коэффициент характеризует первую острую фазу известной двухфазной секреции инсулина поджелудочной железой [8]. Второй фазе секреции инсулина соответствуют параметры  $\beta^-$  и  $\tau_0^-$ , а также отчасти и  $b$ ,  $c^-$ . Они, каждый по-своему, определяют спадающий участок переходного процесса (понижения уровня гликемии); начало его определяется в основном значением параметра  $\beta^-$ , а конец – значением параметра  $\tau_0^-$ . Параметры  $\beta^+$  и  $\tau_0^+$ ,  $b$ ,  $c^+$  аналогично определяют последующий подъем уровня гликемии. Значения параметров  $\gamma$  и  $g^*$  находятся по клиническим данным глюкозурии.

Модель (1) с функцией  $f(t)$  (2) при соответствующем подборе ее параметров,

$$\alpha = 0,948; \beta^- = 0,0185 \text{ мин}^{-1}; \beta^+ = 0,021 \text{ мин}^{-1}; \tau_0^- = 32 \text{ мин}; \tau_0^+ = 50 \text{ мин}; b = 0,2 (\text{мг\%})^{-1}; \\ c^- = 42 \text{ мг\%}; c^+ = 0 \text{ мг\%}; \gamma = 0,08 \text{ мин}^{-1}; a = 40 \text{ мин}; \sigma = 14 \text{ мин};$$

эффективно практически идентично воспроизводит динамику гликемии в капиллярной крови полностью, включая характерную гипогликемическую фазу (рис. 1, на котором помимо гликемической кривой ПТТГ приведен также и график функции  $f(t)$  (2)). В целом модель, предложенная в работе [6], физиологически адекватна, однако в ней использовано не вполне обоснованное предположение о виде функции поступления экзогенной глюкозы  $f(t)$ . Ранее эту функцию представляли просто прямоугольным импульсом [9], что неприемлемо с физиологических соображений и не позволяет вполне адекватно воспроизвести гликемическую кривую ПТТГ ни при каких значениях параметров модели. На рис 2 под номером 2 приведено наилучшее приближение модельной гликемической кривой при импульсной глюкозной нагрузке, принятой в нулевой момент времени, к усредненной справочной кривой клинических данных ПТТГ пациента в норме, изображенной под номером 1, при следующих значениях параметров модели:

$$\alpha = 0,940; \beta^- = 0,0200 \text{ мин}^{-1}; \beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}; \tau_0^- = 27 \text{ мин}; \\ \tau_0^+ = 50 \text{ мин}; b = 0,2 (\text{мг\%})^{-1}; c^- = 42 \text{ мг\%}; c^+ = 0 \text{ мг\%}; \gamma = 0,08 \text{ мин}^{-1};$$

$H = 23,08 \text{ мг\%} \cdot \text{мин}^{-1}$  – высота прямоугольного импульса,  $l = 65 \text{ мин}$  – его длина. Аналогичное приближение модельной гликемической кривой к справочной кривой клинических данных в случае импульсной глюкозной нагрузки, принятой на 15 минуте, приведено на рис. 3. Ему соответствуют такие значения параметров модели:

$$\alpha = 0,945; \beta^- = 0,0200 \text{ мин}^{-1}; \beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}; \tau_0^- = 27 \text{ мин}; \tau_0^+ = 50 \text{ мин}; b = 0,2 (\text{мг}\%)^{-1};$$

$$c^- = 42 \text{ мг}\%; c^+ = 0 \text{ мг}\%; \gamma = 0,08 \text{ мин}^{-1}; H = 30 \text{ мг}\% \text{ мин}^{-1}; l = 50 \text{ мин}.$$

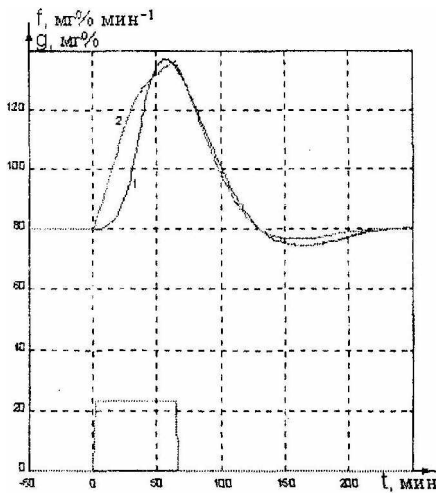


Рис. 2

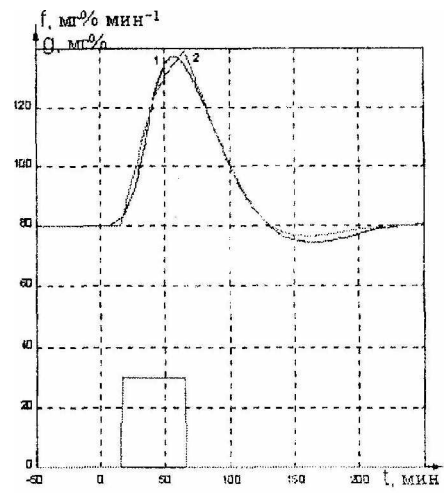


Рис. 3

Ликвидировать не физиологичный излом модельной гликемической кривой на рис. 2,3 принципиально невозможно при такой глюкозной нагрузке. Он обусловлен задним фронтом прямоугольного импульса функции  $f(t)$ . В остальном, не считая этого излома, модельная гликемическая кривая на рис. 3 достаточно хорошо воспроизводит справочные клинические данные ПТТГ. Это означает, что принятая перорально в нулевой момент времени, в начале теста, импульсная глюкозная нагрузка приходит непосредственно в кровь с запаздыванием на 15 минут.

Предложенное в работе [6] описание функции  $f(t)$  центральной частью гауссовой кривой (2) более физиологично; оно позволило при соответствующем подборе параметров модели воспроизвести практически идентично гликемическую кривую ПТТГ (рис.1). Однако и это описание функции  $f(t)$  не вполне удовлетворительно: из физиологических соображений следует, что в организме должна быть максимальная, предельная интенсивность всасывания глюкозы в кровь из кишечного тракта человека, после достижения которой, график функции  $f(t)$  принимает плоский, горизонтальный вид [10]. Кроме того, подъем и спад функции  $f(t)$  в действительности не должны быть симметричны, как это имеет место у гауссовой кривой. Спадающий участок функции всасывания глюкозы из общих соображений реально носит экспоненциальный характер. С целью повышения физиологической адекватности модели (1) возьмем в качестве функции  $f(t)$  такую эмпирическую функцию, которая отвечает всем ранее отмеченным физиологическим требованиям:

$$f(t) = A \begin{cases} e^{-k(t-d)^2} - e^{-kd^2}, & 0 \leq t < d, \\ 1 - e^{-kd^2}, & d \leq t < T, \\ (1 - e^{-kd^2})e^{-m(t-T)}, & t \geq T. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь  $d$  – 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  $D$  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. На рис.4 приведены график функции  $f(t)$  (4) и соответствующая ей гликемическая кривая ПТТГ.

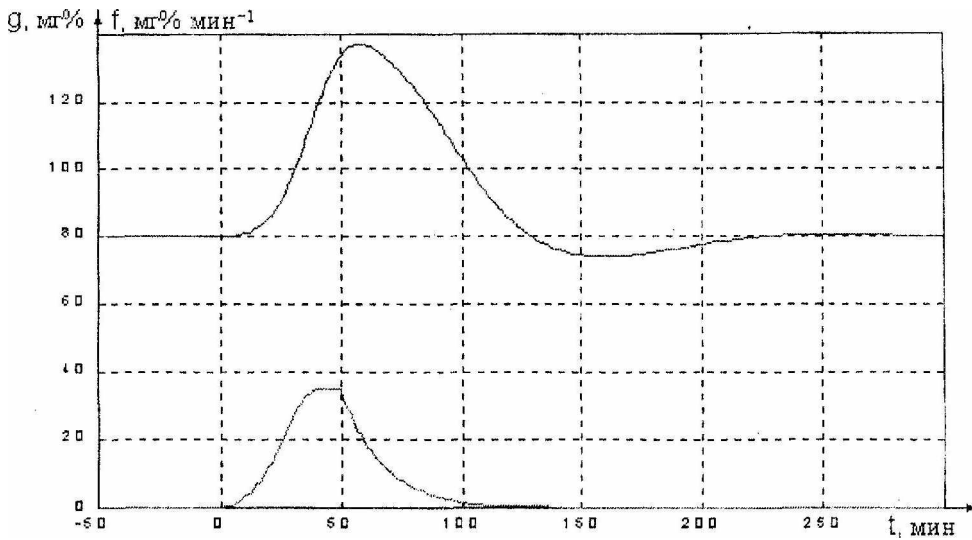


Рис.4

Модель (1) с функцией всасывания глюкозы  $f(t)$  (4) воспроизводит гликемическую кривую ПТТГ в норме при следующих значениях ее параметров:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,934; \beta^- = 0,0240 \text{ мин}^{-1}; \beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}; \tau_0^- = 27 \text{ мин}; \tau_0^+ = 50 \text{ мин}; \\ b &= 0,2 (\text{мг}\%)^{-1}; c^- = 37 \text{ мг}\%; c^+ = 0 \text{ мг}\%; \gamma = 0,08 \text{ мин}^{-1}; A = 34,88 \text{ мг}\% \text{мин}^{-1}; \\ d &= 40 \text{ мин}; k = 0,026 \text{ мин}^{-2}; m = 0,06 \text{ мин}^{-1}; T = 50 \text{ мин}. \end{aligned} \quad (5)$$

Сопоставляя различные представления вида функции всасывания глюкозы: импульсное, гауссовой кривой (2) и составной функцией (4) и их влияние на общий вид гликемической кривой ПТТГ, можно сделать следующие выводы. Функция всасывания глюкозы в виде прямоугольного импульса противоречит физиологическим представлениям, она приводит к ненаблюдаемому на практике излому гликемической кривой теста. Представления функции  $f(t)$  центральной частью гауссовой кривой (2) и формулой (4) дают модельные гликемические кривые практически совпадающие между собой и хорошо удовлетворяющие клиническим данным ПТТГ, однако с несколько различающимися значениями параметров модели. Поскольку составная функция (4) лучше соответствует физиологическим представлениям о функции всасывания глюкозы в кровь при ПТТГ, ее следует считать предпочтительнее. Поэтому при проведении диагностики состояния системы регуляции уровня глюкозы в крови нормой следует считать состояние пациента, для которого параметры подогнанной к нему модели имеют значения (5), полученные в случае представления функции  $f(t)$  по формуле (4).

Проведенное в работе уточнение вида функции всасывания глюкозы в кровь из кишечного тракта человека повышает физиологическую адекватность функционально-феноменологической модели ПТТГ и ее диагностические возможности.

**Список литературы:** 1. Сахарный диабет. Доклад Исследовательской группы ВОЗ (Серия технических докладов ВОЗ, № 727). М.: Медицина, 1987. 126 с. 2. Клиническая эндокринология: Руководство для врачей / Под ред. Н.Т. Старковой. М.: Медицина, 1991. 512 с. 3. Клиническая оценка лабораторных тестов. / Под ред. Н.У. Тица. М.: Медицина, 1986, 356 с. 4. Cobelth C, Pacim 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. 5. Bolie V.W. Coefficients of normal blood glucose regulation. // J. Appl. Physiol. 1961, v. 16, p. 783-788. 6. Лапта С.И., Лапта С.С. Функционально-феноменологическая модель перорального глюкозотолерантного теста. // Проблемы бионики. Харьков, №52, 2000. С.52-57. 7. Лапта С.И., Лапта С.С., Жемчужкина Т.В. Однокомпарментная математическая модель внутривенного теста толерантности к глюкозе. // АСУ и приборы, Харьков, №115-2001 С.103-111. 8. Генес С.Г., Журова М.В., Полторац В.В. Современные представления о механизме секреции инсулина // Проблемы эндокринологии. 1980. Т. 26, №5. С. 73-79. 9. Антомонов Ю.Г., Кифоренко С.И., Миккульская И.А., Пароконная Н.К. Математическая теория системы сахара крови. Киев. Наукова думка. 1971, 83 с. 10. *Endocrinology and metabolism* / Editors: P. Felig, J.D. Baxter, L.A. Frohman, McGraw-Hill, INC., 1995. 1940 p.

Поступила в редколлегию 22.08.2002

УДК 681.3.01.(075)

Н. В. ШАРОНОВА, И. Е. ЛЕЩЕНКО

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ В БАЗАХ ДАННЫХ

Традиционные подходы к организации поиска информации в базах данных можно разделить на три группы: методы индексного (или двоичного) поиска, статистические методы и методы, основанные на базах знаний. Основными критериями при оценке эффективности поисковых систем, построенных с использованием этих методов, являются скорость, точность и полнота ответов (релевантность). При этом учитывается также, с какими типами данных может работать та или иная система, в какой форме представляются результаты поиска и какой уровень подготовки пользователей необходим для работы в этой системе [1].

**Индексный, или двоичный, поиск** применяется главным образом при работе со структурированными базами данных. В таких системах слова интерпретируются как последовательности закодированных символов. Используя формальный синтаксис или язык запросов, система двоичного поиска выбирает точное соответствие для отдельного слова и цепочки слов (слов, связанных логическими операторами). Применение искусственного языка запросов приводит к необходимости обучения пользователей двоичной логике. В методах двоичного поиска не учитываются различные формы и значения слов. Системы двоичного поиска имеют ограничения по точности, влияющие на релевантность запросов; они не могут ранжировать документы по степени соответствия запросу, поэтому пользователь вынужден читать каждый документ, чтобы определить, насколько он соответствует запросу. Статистические методы основываются на расчетах различных частотных характеристик: частоты вхождения слова в документ, взвешенной частоты вхождения и частоты совместного вхождения нескольких слов. При этом предполагается, что чем чаще встречается то или иное слово запроса в документе, тем в большей степени данный документ соответствует введенному запросу.

Основной единицей информации, которой оперируют статистические методы, является отдельное слово, однако отношения между словами рассматриваются исключительно с математической, а не с лингвистической точки зрения. В статистических методах предметы (темы, понятия) представлены терминами (словами, извлеченными из текста документа или основами слов), а связи между документами и запросами представлены частотными характеристиками.

В поисковой системе, основанной на статистическом методе поиска данных и содержащей  $N$  документов, в которой встречаются  $K$  различных терминов, типичным индексом документа  $D_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) является вектор  $D_i = (W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{ik})$ , в котором  $W_{ij}$  – некоторая частотная характеристика термина  $t_j$  ( $1 \leq j \leq k$ ). Поэтому такие системы иногда называют векторными или взвешенными, т.к. характеристика  $W_{ij}$  играет роль веса термина  $t_j$  в описании документа. При этом больший вес обычно приписывается более “значимым” терминам документа. Например, многие авторы считают, что значимость и, соответственно, вес термина  $t_j$  в документе  $D_i$  тем больше, чем больше частота  $f_{ij}$  вхождения  $t_j$  в  $D_i$  (часто вес термина просто равен частоте). И наоборот считается, что большая важность с точки зрения поиска должна быть присвоена не частым, а более редким терминам. Поэтому при определении информативности термину  $t_j$  приписывается тем больший вес, чем больше относительная частота  $\log(p_j/n)$ , где  $p_j$  – количество документов в системе, содержащих  $t_j$ -термин. Многие современные поисковые серверы Интернет при назначении термину (слову) определенного весового значения, определяют ему тем меньший весовой коэффициент, чем чаще оно встречается в документе.

Иногда наиболее информативными считаются термины с наименьшим средним попарным подобием документов. При определении весовой функции здесь исходят из того, что термин, представляющий какую-то ценность с точки зрения содержания документа, должен делать документы непохожими друг на друга.

В отличие от методов двоичного поиска статистические методы не требуют применения жестко формализованного языка запросов. Они позволяют проводить ранжирование документов по степени соответствия запросу, что существенно повышает эффективность работы с поисковыми системами. Однако такие методы не всегда позволяют получить желаемые точность и полноту ответов, поскольку важность того или иного термина напрямую не связана с частотой его использования в документе.

Системы, основанные на базе знаний, занимаются поиском информации в документах на основе некоторых внешних знаний. Они используют концептуальные отношения, которые не применяются при статистическом поиске.

Одним из наиболее простых и распространенных способов представления знаний является файл синонимов. Использование синонимов позволяет при ответе на запрос учитывать не только те термины, которые непосредственно указаны в запросе, но и все другие слова, близкие к ним по значениям.

Другой подход к системам, основанным на базах знаний, использует иерархию терминов и понятий, создаваемую самими пользователями.

Третий известен как подход на основе лингвистических правил. Лингвистические модели базируются на выражении содержания документов отдельными словами, словосочетаниями, предложениями и более крупными фрагментами текста на естественном языке. Они включают в себя языковедческие приемы и наблюдения, относящиеся к конкретным языкам опубликованных текстов. Основное назначение лингвистических моделей в документальной системе распознать, различить или отождествить такие языковые единицы текста, как слова и словосочетания, представляющие в тексте понятия (предметы, темы) и, возможно, связи между ними [2].

Простейший вид лингвистической обработки текстов – морфологический, позволяющий идентифицировать словоформы с одинаковыми основами по таблицам окончаний и суффиксов. Разработчик создает систему лингвистических правил, которые используются для анализа или грамматического разбора текстовой базы данных [3]. Этот метод анализа определяет ключевые слова и понятия, объединяющиеся в базу знаний, которая отражает содержание предметной области (конкретной базы данных). Создание базы знаний должно проводиться для каждой предметной области. Затем база знаний используется для поиска и ранжирования групп родственных документов. Процесс грамматического разбора представляет собой аналитико-синтетическую обработку, являющуюся семантическим процессом, подвергающим смысловой обработке документы и запросы.

И, наконец, еще один подход – использование ссылочных документов, в том числе обычных словарей и словарей терминов. Этот подход основан на смысловых значениях слов и называется семантической сетью. Как и словарь, семантическая сеть содержит множество определений для каждого хранимого слова. Однако определения родственных слов и понятий связываются между собой. Значения слов, наиболее подходящие для данного поиска, могут быть выбраны самим пользователем с целью повышения точности поиска. Подход на основе семантических сетей реально объединяет статистический поиск и поиск на основе базы знаний. При этом используются смысловые значения слов для определения и классификации отношений, которые статистический поиск не отслеживает.

При решении интеллектуальных и лингвистических задач хорошо зарекомендовал себя метод сравнения, или метод компараторной идентификации. Данный метод позволяет моделировать процессы интеллектуальной (в том числе семантической) обработки текстовых документов, в частности, процедуры аналитико-синтетической обработки данных.

Классическая задача идентификации [4] состоит в том, что по входному  $x$  и выходному  $y$  сигналам объекта необходимо определить закон  $y=F(x)$  преобразования сигнала этим объектом. Такую задачу называют прямой, поскольку она осуществляется при непосредственном доступе к выходному сигналу. Однако в ряде случаев возникает необходимость в косвенной идентификации объекта, когда у исследователя нет прямого доступа к выходному сигналу. Именно такие задачи можно решить методом компараторной идентификации.

Сущность метода компараторной [5] идентификации состоит в следующем. На вход системы поиска из конечных множеств  $X_1, X_2, \dots, X_n$  подается множество входных сигналов  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , причем  $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_m \in X_n$ . В результате работы системы, осуществляющей обработку информации, на выход поступает множество элементов  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , где  $y_1 \in Y_1, y_2 \in Y_2, \dots, y_n \in Y_n$ . Элементы  $y_1, y_2, \dots, y_n$  однозначно зависят от сигналов  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Это означает, что существуют функции  $y_1=f(x_1), y_2=f(x_2), \dots, y_n=f(x_n)$ , которые ставят в соответствие каждому  $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_m \in X_n$  элемент  $y_1 \in Y_1, y_2 \in Y_2, \dots, y_n \in Y_n$ . Причем каждому из сигналов  $x_i \in X_i$  соответствует вполне определенный элемент  $y_i \in Y_i$ .

В ходе работы системы проверяется существование некоторого отношения  $Q$ , связывающего элементы выходного множества  $y_1, y_2, \dots, y_n$  с элементами  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , поступающими на вход системы. Если для этих элементов отношение  $Q$  выполняется, то компаратор присваивает переменной  $q$  значение 1, если не выполняется, то  $q$  присваивается значение 0. То есть компаратор своими ответами формирует значение некоторых предикатов  $P_1, P_2, \dots, P_r$ , при этом выявляются свойства данных предикатов, которые формально записываются в виде системы логических уравнений, связывающих предикатные переменные  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Таким образом, в процессе работы компаратор реализует предикат

$q = Q(y_1, y_2, \dots, y_n)$ , соответствующий отношению  $Q$ . Предикат  $q$  характеризует механизм сравнения элементов  $y_1, y_2, \dots, y_n$ . Именно эта операция сравнения позволяет назвать данный метод методом компараторной идентификации.

Формальным средством описания и получения из свойств предикатов их внутренней структуры является алгебра конечных предикатов[6].

Основное ограничение методов поиска, основанных на базах знаний в том, что они предназначены для работы в области текстовых данных. Преодолеть это ограничение в поисковых системах удастся за счет совместного использования технологии семантических сетей и методики адаптивного распознавания образов.

Анализ методов идентификации в базах данных показывает, что каждый из них имеет определенные ограничения в полноте и точности полученных результатов. Однако авторы считают, что системы, основанные на базах знаний, гораздо удобнее тех, которые базируются на двоичном поиске и статистических методах. Применение метода компараторной идентификации для поиска информации в базах данных, является перспективным направлением, так как он обладает достаточной гибкостью, доступен для расширения и не слишком громоздок при эксплуатации.

**Список литературы:** 1. *Крис Дейт*. Введение в базы данных. Изд. 6-е. Киев, Диалектика, 1998. 2. *Марчук Ю.Н.* Актуальные вопросы синтактико-семантического анализа при машинном переводе на персональном компьютере в новой технологической среде // Пробл. Бионики. 1991. Вып.46. С38-43. 3. *Замулин А.В.* Системы программирования баз данных и знаний. Новосибирск, Наука, 1990. 4. *Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э.* Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации: К.: Наукова Думка, 2002. 163с. 5. *Шабанов-Кушнарченко Ю.П., Шаронова Н.В.* Компараторная идентификация лингвистических объектов. К.: ИСДО, 1993. 116с. 6. *Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* Теория интеллекта. Математические средства. Х.: Виша шк. Изд-во при Харьк. ун-те. 1984. 144с.

*Поступила в редколлегию 6.09.2002*

УДК 681.3

В. А. ТИМОФЕЕВ

### ЭЛЛИпсоИДАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕННЫХ ПОМЕХ

Одной из фундаментальных задач теории управления является проблема идентификации – определения или оценивания параметров системы в различные моменты времени. Качество решения задачи идентификации существенно зависит от объема априорной информации о свойствах исследуемого объекта и действующих сигналов и помех. Большинство существующих методов идентификации предполагает наличие такой информации в виде известной плотности распределения помех либо информации о принадлежности неизвестной плотности какому-либо классу распределений. Эта информация позволяет однозначно выбрать критерий идентификации и применить для поиска его экстремума хорошо разработанные методы.

Однако зачастую сведения о статистических свойствах сигналов и помех отсутствуют, а исследователь обладает информацией лишь об их уровнях. Исследованию такого случая и посвящена данная работа.

Рассмотрим динамический объект, описываемый авторегрессионной (ARX) моделью

$$y_t = a_1 y_{t-1} + \dots + a_n y_{t-n} + b_0 u_t + b_1 u_{t-1} + \dots + b_m u_{t-m} + \xi_t \quad (1)$$

где  $y_t, u_t, \xi_t$  – выходной, входной сигналы и помеха в момент времени  $t$ , соответственно, причем

$$|\xi_t| \leq \delta_t, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

Данное уравнение может быть преобразовано к виду

$$y_t = \Theta^T x_t + \xi_t, \quad (3)$$

где  $\Theta = (a_1, a_2, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_m)^T$  – вектор параметров;  $x_t = (y_{t-1}, \dots, y_{t-n}, u_t, u_{t-1}, \dots, u_{t-m})^T$  – вектор обобщенных входов.

С учетом (2) уравнение (3) может быть переписано в виде пары неравенств

$$y_t - \delta_t \leq \Theta^T x_t \leq y_t + \delta_t, \quad (4)$$

задающих границы области  $D$ , внутри которой должны лежать искомые параметры  $\Theta$ . Отметим, что неравенства (4) задают гиперплоскости в пространстве  $\Theta$ , ограничивающие область принадлежности  $\Theta$ . Последовательность наблюдений  $y_1, y_2, \dots, y_k$  порождает  $k$  пар гиперплоскостей, «высекающих» в пространстве некоторую область  $D_k$ , являющуюся областью оценок и представляющую из себя полигон [1]. Каждое новое наблюдение изменяет эту область, относительно которой можно заметить, что все точки, принадлежащие этой области, равноправны в том смысле, что среди них нельзя выделить наилучшую оценку. Поэтому для удобства используется некий «центр» области [1, 2].

Очевидно, что чем больше объем полученного полигона, тем меньше уровень неопределенности  $\Theta$ . Из неравенств (3) и (4) видно, что вид и размер полигона зависит от выбора вектора обобщенных входов  $X_t$ . При использовании в качестве метрики в пространстве параметров  $\Theta$  евклидова расстояния, наилучший выбор  $X_t$  связан с максимизацией  $\|x_t\|$ , что обеспечивает максимальное стягивание границ полигона [3]. Таким образом, проблема выбора последовательности векторов  $X_t$  состоит в минимизации после  $k$  шагов размера области  $D_k$ .

Формально это можно представить следующим образом. Так как объект описывается уравнением (3), а помеха удовлетворяет условию (2), то вектор искомых параметров удовлетворяет всем неравенствам

$$(y_t - \Theta^T x_t)^2 \leq \delta_t^2. \quad (5)$$

Поэтому в качестве оценок параметров могут быть использованы только те, которые принадлежат множеству

$$M_t(\hat{\Theta}) = \left\{ \hat{\Theta} : (y_t - \hat{\Theta}^T x_t)^2 \leq \delta_t^2, \hat{\Theta} \in R^{n+m+1} \right\}, \quad (6)$$

которое с геометрической точки зрения представляет собой монотонную невозрастающую последовательность выпуклых политопов  $D_t$ :

$$M_t = \bigcap_{k=1}^t D_k = M_{t-1} \cap D_t; \quad (7)$$

$$D_t = \left\{ \hat{\Theta} : \left| y_t - \hat{\Theta}^T x_t \right| \leq \delta_t \right\}. \quad (8)$$

Вычисление оценок  $\hat{\Theta}_t \in M_t(\hat{\Theta})$  представляет собой сложную задачу, решение которой может быть существенно упрощено путем построения некоторого множества, ограничивающего  $M_t(\hat{\Theta})$ . Эти ограничения могут задаваться либо в форме параллелепипедов [1,2], либо в форме эллипсоидов [3,4], центр которых совпадает с  $\hat{\Theta}$ .

Рассмотрим алгоритм центрификации объекта (1), основанный на методе эллипсоидов.

Алгоритм начинается с построения достаточно большого эллипсоида  $M_0$  в пространстве  $R^{n+m+1}$  и содержащего все возможные допустимые значения вектора  $\hat{\Theta}$ . После получения первого наблюдения  $y_1$  может быть найден эллипсоид, построенный в соответствии с (7) на пересечении  $M_0$  и выпуклого политопа  $D_1$ . Для ускорения сходимости алгоритма следует оптимизировать эллипсоид, например, по критерию минимального его объема либо минимального следа.

Обозначим оптимальный эллипсоид как  $M_1$ . После получения второго наблюдения  $y_2$  аналогичным образом найдем  $M_2$  и т. д. Таким образом может быть получена последовательность оптимальных эллипсоидов. В произвольный момент времени  $t$  эллипсоид определяется выражением (6) или, в более общем случае, выражением

$$M_t = \left\{ \hat{\Theta} : \left( \hat{\Theta} - \hat{\Theta}_t \right)^T P_t^{-1} \left( \hat{\Theta} - \hat{\Theta}_t \right) \leq r_t^2 \right\}, \quad (9)$$

где  $P_t$  – весовая матрица, определяющая полуоси эллипсоида;  $r_t^2$  – скалярная величина, рекуррентно вычисляемая по формуле

$$r_t^2 = (1 + \lambda_t) r_{t-1}^2 + \lambda_t \delta_t^2 - \frac{\lambda_t (1 - \lambda_t) e_t^2}{1 - (1 - \lambda_t) \lambda_t} \quad (10)$$

$$r_0^2 \gg 1; e_t = y_t - \hat{\Theta}_{t-1}^T x_t; \gamma_t = x_t^T P_{t-1} x_t; \lambda_t \in (0,1].$$

Коррекция оценок происходит по формуле

$$\hat{\Theta}_t = \hat{\Theta}_{t-1} + \lambda_t \frac{P_{t-1} x_t}{1 - (1 - \gamma_t) \lambda_t} r_t; \quad (11)$$

$$P_t = \frac{1}{1 - \lambda_t} \left[ P_{t-1} - \lambda_t \frac{P_{t-1} x_t x_t^T P_{t-1}}{1 - (1 - \gamma_t) \lambda_t} \right]; \quad (12)$$

где  $P_0 = \alpha I$ ,  $I$  – единичная матрица,  $\alpha \gg 0$ .

Размер оптимального эллипсоида  $M_t$ , вычисляемый в соответствии с (7), зависит от коэффициента  $\lambda_t$ . Оптимальное значение  $\lambda_t$  может быть получено путем минимизации по  $\lambda_t$  величины  $r_t^2$  (10).

С другой стороны, имеет смысл осуществлять коррекцию  $\lambda_t$  только в те моменты времени, когда происходит уточнение оценок искомых параметров, т. е. в случаях, когда нарушается условие (5). С учетом (10) данное условие может быть модифицировано следующим образом:

$$e_t^2 + r_{t-1}^2 \leq \delta_t^2. \quad (13)$$

Отсюда, если неравенство (13) не выполняется, значения коэффициентов  $\lambda_t$  вычисляются следующим образом:

$$\lambda_t = \min\{\alpha, \beta_t\}, \quad (14)$$

$$\beta_t = \begin{cases} \alpha & \text{при } \Delta_t = 0 \\ \text{или } (1 + \Delta_t(\gamma_t - 1)) \leq 0; \\ \frac{1 - \Delta_t}{2} & \text{при } \gamma_t = 1; \\ \frac{1}{1 - \gamma_t} \left[ 1 - \left( \frac{\gamma_t}{1 + \Delta_t(\gamma_t - 1)} \right)^2 \right] & \text{при } 1 + \Delta_t(\gamma_t - 1) > 0; \end{cases} \quad (15)$$

$$\Delta_t = \frac{\delta_t^2 - r_{t-1}^2}{e_t^2}.$$

Таким образом, алгоритм идентификации описывается соотношениями (11), (12), (14), (15). Значение, выбираемое в качестве верхней границы  $\delta_t$ , не должно быть тесно связано с величиной помехи, так как оценки границ помехи не воздействуют на оценки искомых параметров. Однако завышение  $\delta_t$  может привести к росту размера ограничивающего эллипсоида, а занижение – к уменьшению (и даже появлению отрицательных значений)  $\delta_t^2$ , что приводит к уменьшению или исчезновению ограничивающего эллипсоида. В последнем случае следует либо искусственно увеличить размер эллипсоида  $M_t$ , либо увеличить ширину  $D_t$  путем увеличения значения  $\delta_t$ .

Рассмотренный алгоритм идентификации является некоторой модификацией рекуррентного МНК с экспоненциальным взвешиванием информации.

**Список литературы:** 1. Scheppe F. S. Uncertain dynamic systems. London: Prentice-Hall, Inc. 1973. 553 p. 2. Norton J. P. An introduction to identification. London: Academic Press, Inc. 1986. 310 p. 3. Черноусько Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов. М.: Наука, 1986. 320 с. 4. Бакан Г. М., Волосов В. В., Кузусль Н. Н. Оценивание состояния непрерывных динамических систем методом эллипсоидов // Кибернетика и системный анализ, 1996. №6. С. 72-91.

Поступила в редколлегию 9 08.2002

УДК 519.87

О. Ф. МИХАЛЬ

### ЛОКАЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ СОГЛАСОВАННАЯ КОРРЕКТИРОВКА ТЕРМОВ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

С появлением нечеткой логики (НЛ) Л. Заде [1], стало возможным “оцифровывать” нечеткие понятия и работать с ними не на уровне формально-логических представлений, а на уровне описаний лингвистическими переменными (ЛгП). Этим расширилось использование нечетких представлений в управлении, распознавании образов, экспертном оценивании и др. Дальнейшее расширение областей применения НЛ сопровождается ростом требований к технической реализации систем, в первую очередь в части производительности. Производительность НЛ систем повышается как аппаратным путем (введением специализированных сопроцессоров [2]), так и программно – применением соответствующих алгоритмических решений. В числе последних эффективных направлений являются локально-параллельные (ЛП) алгоритмы [3-5], позволяющие обрабатывать нечеткую информацию в уплотненном виде. Показано, что на ЛП алгоритмах могут быть построены нечеткие системы регулирования (НСР) с обратной связью [5, 6]; а так же адаптивные НСР с подстройкой параметров эволюционными алгоритмами (ЭА) [7]. Корректировке подлежат термы ЛгП, каждый из которых представляет собой профиль функции принадлежности (ФП). Рассмотренный в [7] алгоритм позволяет смещать отдельные профили ФП в небольших пределах, независимо друг от друга. Целью настоящего сообщения является демонстрация более универсального подхода, включающего алгоритм корректировки нескольких взаимосогласованных термов ЛгП.

#### Нечеткое регулирование

Адаптивная НСР иллюстрируется блок-схемой рис. 1. Набор значений выходных параметров  $A: \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  с объекта управления (ОУ) снимается через датчики (Д). Набор значений входных параметров  $B: \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$  подается на ОУ через устройство управления (УУ). Д и УУ обеспечивают взаимодействие ОУ с нечетким регулятором (НР), содержащим последовательно включенные преобразователь данных из четкой формы в нечеткую (ЧН) (fuzzifier), блок нечеткой обработки (НО) (fuzzy inference engine) и преобразователь данных из нечеткой формы в четкую (НЧ) (defuzzifier).

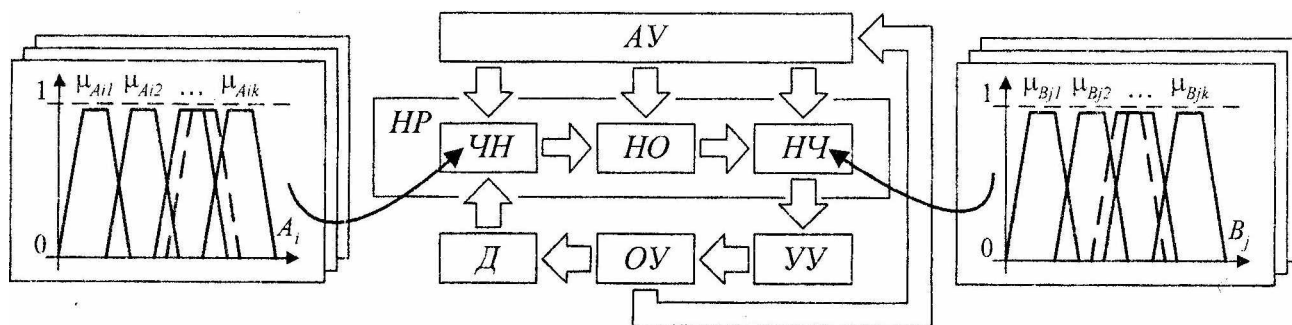


Рис. 1. Блок-схема адаптивной нечеткой системы регулирования.

Для преобразований ЧН и НЧ, в соответствующих блоках содержатся ЛгП, построенные по наборам параметров  $A$  и  $B$ . Для упрощения, для ЛгП применены те же обозначения, что и для параметров. Пусть входные и выходные ЛгП содержат одинаковое количество  $k$  термов:  $A_i: \{\mu_{A_{i1}}, \mu_{A_{i2}}, \dots, \mu_{A_{ik}}\}$ ;  $B_j: \{\mu_{B_{j1}}, \mu_{B_{j2}}, \dots, \mu_{B_{jk}}\}$ ;  $i=1, 2, \dots, m$ ;  $j=1, 2, \dots, n$ ; здесь и далее, для упрощения, термы обозначены соответствующими

ФП. Для нечеткого вывода, в НО содержатся нечеткие решающие правила (РП) вида  $\text{if } (\bigwedge_{i=1}^n (A_{it} = \mu_{A_{ip_i}}))$

$\text{then } (B_{jt} = \mu_{B_{jq_t}})$ , где индекс  $t$  обозначает текущее значение;  $p_i$  и  $q_t$  ( $p_i, q_t \in k$ ) – номера термов, соответствующие  $t$ . Адаптивное управление (АУ) (например, с использованием ЭА [7]) осуществляется на основании независимо получаемой информации об ОУ. При этом могут корректироваться профили ФП выходных и входных параметров, либо РП. Рассматриваемые ниже алгоритмы касаются только корректировки термов посредством смещения фронтов профилей ФП (показано на рис. 1 пунктиром).

Изменение профилей ФП в НСР применяется на этапе адаптации и соответствует изменению (подстройке) передаточной характеристики (ПХ) системы, связывающей входные параметры ОУ с выходными. Как отмечалось, связь задается набором РП, которые на начальном этапе разработки могут быть известны (исследованы) для ОУ не в полной мере. Практика разработки НСР показывает, что вариация конкретного вида выражения, описывающего фронты профиля ФП, гораздо в меньшей степени влияет на вид ПХ, чем координаты вершины (или "плато") и точек основания ФП. Поэтому на практике применяются унифицированные конфигурации профилей ФП [2]. В связи с этим рассматриваемый ниже алгоритм смещения фронтов ФП ценен, как инструмент подстройки профилей ФП, и не представляет существенных практических ограничений при построении конкретных ПХ.

Как отмечалось, аппарат ЛгП позволяет описывать работу системы на уровне лингвистических понятий. Может быть показано, что минимальное число рассматриваемых РП (а следовательно, максимальное быстродействие системы) имеет место при не более чем двукратном перекрытии термами области значений параметра  $A_i$ , на котором построена ЛгП (рис. 2, а). Представляется достаточно очевидным, что терм  $\mu_{A_i p_i}$  в ситуации рис. 2, б мало информативен, поскольку  $\mu_{A_i p_i} \subset \mu_{A_i (p_i+1)}$ ; а участок (с, d) параметра  $A_i$  в ситуации рис. 2, в "оставлен без присмотра": при  $c \leq A_i \leq d$  управление не поддерживается ни одним из РП.

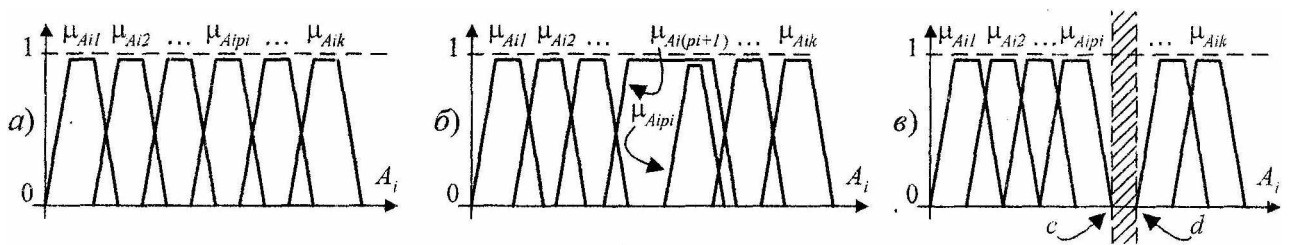


Рис. 2. Допустимые (а) и недопустимые (б, в) расположения термов.

"Правильное расположение" термов (рис. 2, а) удовлетворяет выражениям:  $\mu_{A_i p_i} \cap \mu_{A_i (p_i+1)} \neq \emptyset$ ;  $\mu_{A_i p_i} \cup \mu_{A_i q_i} = \emptyset$ ; где:  $q_i \neq p_i$ ,  $q_i \neq p_i+1$ ;  $p_i, (p_i+1), q_i \in \{1, 2, \dots, k\}$ . Нарушение первого из этих условий соответствует ситуации рис. 2 в, нарушение второго условия – ситуации рис. 2 б. Указанные нарушения возможны при раздельной корректировке термов. Так, примененный в [7] ЭА может, хотя и с очень низкой вероятностью, привести к ситуации рис. 2 в. Задолго до подобной ситуации, качество работы системы (значение функции соответствия [7]) падает и вероятность поступления соответствующей генетической информации в следующую популяцию хромосом существенно снижается. Однако, недопустимые ситуации полностью исключаются только при применении согласованной корректировки.

### Согласованная корректировка термов

Унифицированные профили ФП характеризуются фиксированным числом параметров  $s$ . Для полного набора ЛгП имеется  $(m+n)ks$  параметров, по каждому из которых может быть обеспечена нечеткая регулировка. Рассматривается организация регулирования на примере корректировки термов с профилями ФП трапецеидальной формы. При этом корректируется только положение фронтов ФП, т.е.  $s=2$ . Вводится дополнительное правило, ужесточающее условия "правильного расположения" термов. Пусть при перекрытии значений термов ЛгП  $A_i: \{\mu_{A_i 1}, \mu_{A_i 2}, \dots, \mu_{A_i p_i}, \dots, \mu_{A_i k}\}$  промежуток между ближайшими точками нижних оснований  $p_i$ -й и  $(p_i+2)$ -й трапеций равен верхнему основанию  $(p_i+1)$ -й трапеции ( $i$  – номер параметра,  $p_i$  – номер терма в  $A_i$ ,  $p_i \in \{1, 2, \dots, k\}$ ). Данное правило обеспечивает полное, не более чем двукратное перекрытие области значений  $A_i$ . Кроме того, при линейных фронтах ФП, для значений  $A_i$ , в интервале  $(\mu_{A_i p_i} \cap \mu_{A_i (p_i+1)}) > 0$ , имеет место  $\mu_{A_i p_i} + \mu_{A_i (p_i+1)} = 1$ . Легко видеть, что данным правилом вводится взаимосогласованность между термами. При проверке соблюдения правила при смещении каждого из фронтов каждой из ФП может рекуррентно включаться процедура смещения соседнего фронта. Рассмотрим организацию такой процедуры более подробно.

Таблица 1

	"сильно увеличить"	"слабо увеличить"	"слабо уменьшить"	"сильно уменьшить"
"левый фронт"	$\uparrow\uparrow \mu_{A_{ik}}$	$\uparrow \mu_{A_{ik}}$	$\downarrow \mu_{A_{ik}}$	$\downarrow\downarrow \mu_{A_{ik}}$
"правый фронт"	$\mu_{A_{ik}} \uparrow\uparrow$	$\mu_{A_{ik}} \uparrow$	$\mu_{A_{ik}} \downarrow$	$\mu_{A_{ik}} \downarrow\downarrow$

Корректируемыми параметрами являются ширина ФП и ее местоположение при соблюдении неизменных наклонов фронтов и правила перекрытия значений параметра  $A_i$ , что эквивалентно управлению раздельным перемещением фронтов. Система обозначений для команд управления выходным параметром  $A_i$  при двух градациях величины управляющего воздействия представлена в табл. 1. Пример лингвистической интерпретации обозначений:  $\mu_{A_{ik}} \downarrow$  – "слабо уменьшить ширину профиля ФП смещением правого фронта". Смещение профиля ФП осуществляется последовательным уменьшением ширины одним фронтом и увеличением ширины другим:  $(\downarrow \mu_{A_{ik}}, \mu_{A_{ik}} \uparrow)$  обозначает "слабо сместить ФП вправо". Имеет место коммутативность:  $(\downarrow \mu_{A_{ik}}, \mu_{A_{ik}} \uparrow) = (\mu_{A_{ik}} \uparrow, \downarrow \mu_{A_{ik}})$ . Смещение может сочетаться с расширением или сжатием ФП:  $(\downarrow \mu_{A_{ik}}, \mu_{A_{ik}} \uparrow \uparrow)$  обозначает "слабо сместить ФП вправо и расширить". Правило соблюдения перекрытия значений выражается тождествами:  $\uparrow \mu_{A_{ik}} = \mu_{A_{i(k-1)}} \downarrow$ ,  $\downarrow \mu_{A_{ik}} = \mu_{A_{i(k-1)}} \uparrow$ ,  $\uparrow \uparrow \mu_{A_{ik}} = \mu_{A_{i(k-1)}} \downarrow \downarrow$ ,  $\downarrow \downarrow \mu_{A_{ik}} = \mu_{A_{i(k-1)}} \uparrow \uparrow$ . Используя данную систему обозначений, проиллюстрируем процедуру согласованной корректировки на примере.

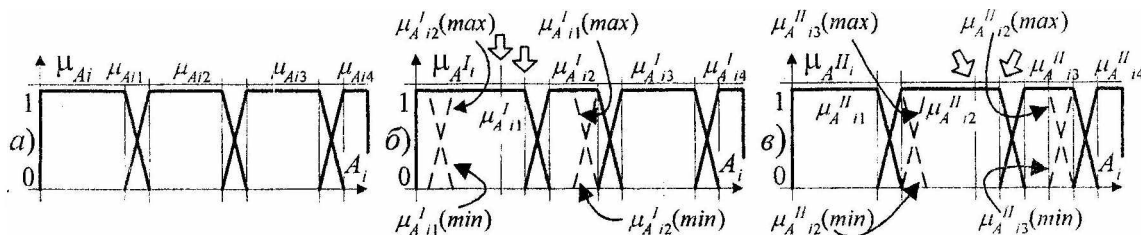


Рис. 3. Корректировка параметра  $A_i$ .

На рис. 3 представлена корректировка параметра  $A_i$  при одной градации управляющего воздействия. Показана ЛгП  $A_i$ , содержащая 4 термина в исходном состоянии  $A_i: \{ \mu_{A_{i1}}, \mu_{A_{i2}}, \mu_{A_{i3}}, \mu_{A_{i4}} \}$  (рис. 3 а) и после двух вариантов корректировки исходного состояния:  $A_i^I: \{ \mu_{A_{i1}}^I, \dots, \mu_{A_{i4}}^I \}$  – уменьшение ширины смещением левого фронта (рис. 3 б) и  $A_i^{II}: \{ \mu_{A_{i1}}^{II}, \dots, \mu_{A_{i4}}^{II} \}$  – увеличение ширины смещением правого фронта (рис. 3 в). На рис. 3 б и в исходные положения фронтов  $\mu_{A_{i2}}$ , соответствующие рис. 3 а, указаны прозрачными стрелками: пунктирными наклонными линиями показаны предельные положения смещения левого (для  $A_i^I$ ) и правого (для  $A_i^{II}$ ) фронтов, которыми ограничены возможности корректировки термов. Если, например, требуется расширить  $(k+1)$ -й терм влево так, что правая граница  $k$ -го терма сместится больше чем на ширину  $k$ -го терма, то сначала должна быть смещена влево левая граница  $k$ -го терма. Таким образом, корректировка должна включать дополнительные проверки, как показано на блок-схеме рис. 4. В зависимости от текущего состояния ФП,  $i$ -й терм корректируется немедленно, либо предварительно корректируется его окружение. Команды 11, 14, 17 и 20 соответствуют корректировке окружения: рекурсивному запуску аналогичной процедуры, с последующим возвратом в исходную. Рекурсивный вызов команд смещения фронтов может быть многократным: например, команда  $\mu_{A_{i2}}^{II} \uparrow$  (смещение правого фронта, рис. 3 в) повлечет за собой команды  $\downarrow \mu_{A_{i3}}^{II}, \mu_{A_{i3}}^{II} \uparrow$  и  $\downarrow \mu_{A_{i4}}^{II}$  (смещение левого фронта  $\mu_{A_{i4}}^{II}$  и перемещение вправо ФП  $\mu_{A_{i3}}^{II}$ ). Могут накладываться дополнительные ограничения в связи с характером предметной области, но рекурсивное вложение и процедура в целом при смещении фронтов – сохраняются.

Корректировку  $\mu_{A_{ik}}$  можно рассматривать как нечеткую процедуру. Пример включает ФП и РП. ФП имеет регулировку по каждому из фронтов, определяется пределами перемещения фронтов и изменяется в процессе регулировки. В связи с этим, регулировочная ФП строится по управляющим ФП при проведении регулировки. РП, (рис. 4 блоками 5, 6, 7 и 8) определяют последовательность проведения корректировок нескольких соседних ФП. В рассмотренном примере регулировочная ФП – четкая, что является частным случаем: при смещении фронта деформируется единственная соседняя ФП. При дальнейшем расширении ФП  $\mu_{A_{i2}}^{II}$  (рис. 2 в) вправо, ФП  $\mu_{A_{i3}}^{II}$  будет сжата до минимального размера (фронтом  $\mu_{A_{i3}}^{II}(\min)$ ), после чего начнет сжиматься  $\mu_{A_{i4}}^{II}$ . "Неупругое" поведение не адекватно реальным физическим системам. "Дальнодействие" между фронтами (разномасштабная деформация и смещение нескольких соседних ФП в направлении смещения данного фронта) вводится нечеткими регулировочными ФП. Организация нечеткой процедуры требует специального обсуждения, но принципиальных трудностей не представляет. Ее потенциальным преимуществом является "предвосхищение" в процессе корректировки дальнейших целесообразных изменений профилей ФП за счет введения априорных нечетких представлений о жесткости ("упругости") связей между термами.

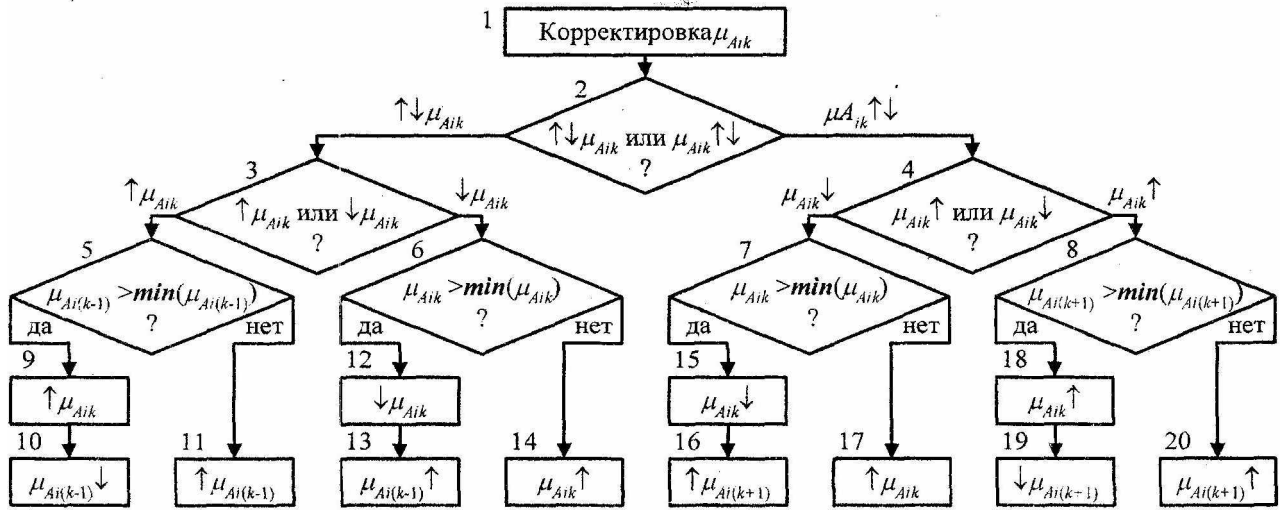


Рис. 4. Алгоритм согласования перемещения фронтов ФП термов.

Системы, реализующие принципы НЛ, в той или иной степени базируются на экспертных (т.е. изначально неполных [8]) знаниях. В этом смысле корректировка термов в адаптивных НСР есть приведение старых знаний в соответствие с вновь приобретёнными. В рассмотренном случае старыми знаниями является совокупность параметров термов до корректировки. Новым знанием является набор параметров скорректированного терма; а приведение старых знаний в соответствие с новыми, состоит во взаимосогласовании фронтов, которое реализуется блоками 9–20 и всеми рекурсивными подключениями процедуры корректировки рис. 4.

Реальная НСР должна располагать инструментарием, перекрывающим полный набор корректируемых параметров термов ЛГП предметной области. При реализации инструментария на принципах НЛ объем регулировочных ФП s-кратно превышает объем управляющих ФП. Как отмечалось, имеется  $(m+n)ks$  регулировочных параметров. В рассмотренном примере (рис. 3 и 4)  $s=2$ , т.е. регулировочных ФП вдвое больше, чем управляющих. Соответствующие затраты вычислительных ресурсов могут быть существенно сокращены при реализации НСР с использованием принципа локальной параллельности.

### Локальная параллельность

Последовательная схема нечетких операций предполагает хранение значений ФП в виде массивов чисел. Обработка включает поэлементный перебор массивов. Ее продолжительность при этом возрастает пропорционально числу значений ФП. При ЛП представлении значения ФП хранятся и обрабатываются не по одному, а в виде конкатенаций из  $p$   $q$ -битовых сегментов  $pq < r$ , где  $r$  – разрядность вычислительного устройства, на котором реализуется ЛП алгоритм [3,4]. Для этого значения ФП масштабируются ( $\mu_A \rightarrow \bar{\mu}_A$ ), целочисленно аппроксимируются ( $\bar{\mu}_A \rightarrow \mu_A$ ) и конкатенируются, образуя регистровое представление (РГП):  $(\bar{\mu}_A)_R = \bar{\mu}_A(a_1) \oplus \bar{\mu}_A(a_2) \oplus \dots \oplus \bar{\mu}_A(a_p)$  (символом  $\oplus$  обозначена конкатенация). В результате масштабирования  $\bar{\mu}_A = M * \mu_A$  (где  $M = (2^q - 1)$ ;  $m$  – число бит, выделяемых под хранение одного значения ФП;  $q \in (1, 2, 3, \dots)$ ; случай  $q=1$  соответствует четкому множеству),  $0 \leq \bar{\mu}_A(a_i) \leq M$ . Аппроксимация целочисленными значениями в интервале  $[0, M]$  с равномерным шагом  $M/(p-1)$  дает следующие  $(M+1)$  градаций значений ФП:  $\bar{\mu}_A(a_1) = 0$ ,  $\bar{\mu}_A(a_2) = M/(p-1)$ ,  $\bar{\mu}_A(a_3) = 2M/(p-1), \dots, \bar{\mu}_A(a_i) = (i-1)M/(p-1), \dots, \bar{\mu}_A(a_p) = M$ . Таким образом, каждый из сегментов обеспечивает передачу  $2^q$  градаций значения ФП. Величина  $q$  может быть выбрана с учетом требований точности системы. При достаточной разрядности  $r$  применяемого вычислительного устройства в РГП может помещаться (представляться в виде единого числа) весь терм. Тогда обработка нечеткой информации, включая операции НЛ, может вестись не по отдельным значениям ФП, а потермово, что r-кратно сокращает число циклов алгоритма и соответствующим образом повышает производительность. Кроме того, при конкатенации r-кратно уменьшается объем адресуемой памяти [3] и пропорционально сокращается число циклов выборки значений ФП.

ЛП алгоритм операции НЛ (обозначена  $\otimes$ ) [3,4] представляет собой специальным образом подобранную последовательность арифметических, поразрядных логических и сдвиговых регистровых операций, производимых над конкатенациями  $\bar{A}_i$  и  $\bar{B}_i$  операндов  $\bar{a}_g$  и  $\bar{b}_g$ ,  $g=1,2,\dots, k$ , как над обычными числами, в результате которых получается число  $\bar{C}$ , которое может быть интерпретировано как конкатенация ( $\oplus$ ) результатов  $\bar{c}_g$  НЛ операций, проведенных над операндами  $c_g=a_{ig}\otimes b_{ig}$  независимо:

$$A_j: \{a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jk}\} \Rightarrow \bar{A}_j = \bar{a}_{j1} \oplus \bar{a}_{j2} \oplus \dots \oplus \bar{a}_{jk} \Rightarrow \bar{C} = \bar{A}_1 \otimes \bar{B}_j \Rightarrow \bar{C} = \bar{c}_1 \oplus \bar{c}_2 \oplus \dots \oplus \bar{c}_k \Rightarrow C: \{c_1, c_2, \dots, c_k\}.$$

$$B_j: \{b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jk}\} \Rightarrow \bar{B}_j = \bar{b}_{j1} \oplus \bar{b}_{j2} \oplus \dots \oplus \bar{b}_{jk} \Rightarrow$$

ЛП система тем эффективнее, чем меньше в ней промежуточных конкатенаций – деконкатенаций. В связи с этим представляет интерес алгоритмическая организация чисто ЛП адаптивной НСР. Общая структура подобных систем рассмотрена в [5 – 7]. ЛП согласованная корректировка термов предполагает некоторые особенности.

### Локально-параллельная согласованная корректировка термов

Рассматривается работа ЛП алгоритма в адаптивной НСР (рис. 1). Термы  $T_{a1g}$  ЛгП  $A_1$  и  $T_{a2g}$  ЛгП  $A_2$  ( $g=1,2,\dots, k$ ) в ЛП представлении имеют вид наборов РгП:  $T_{a1g} = \bar{\mu}_{a1g}(x_{11}) \oplus \bar{\mu}_{a1g}(x_{12}) \oplus \dots \oplus \bar{\mu}_{a1g}(x_{1g})$  и  $T_{a2g} = \bar{\mu}_{a2g}(x_{21}) \oplus \bar{\mu}_{a2g}(x_{22}) \oplus \dots \oplus \bar{\mu}_{a2g}(x_{2g})$ , где  $x_{11}, \dots, x_{1g}$  и  $x_{21}, \dots, x_{2g}$  – дискретные отсчеты параметров областей определения ЛгП  $A_1$  и  $A_2$ , соответственно. Полагается, что выходные параметры ОУ, соответствующие ЛгП  $A_1$  и  $A_2$ , сняты с датчиков Д в виде дискретных значений с точностью в пределах дискретизации областей определения ЛгП. После преобразований (не являющихся частью рассматриваемых алгоритмов), значения параметров приобретают вид РгП:  $..(00..0)(11..1)(00..0)(00..0)..$  (двоичные сегменты для наглядности выделены скобками). Размеры сегментов параметров  $A_1$  и  $A_2$  совпадают с размерами сегментов РгП термов  $T_{a1g}$  и  $T_{a2g}$ ,  $g=1,2,\dots, k$ . Положение единичного сегмента (11..1) соответствует значению, снятому с Д. По каждой из ЛгП параметр сопоставляется с термом:  $A_{T1g} = A_1 \text{ and } T_{a1g}$ ,  $A_{T2g} = A_2 \text{ and } T_{a2g}$  (здесь **and** – нечеткое логическое "И"). Из профилей ФП термов  $T_{a1g}$  и  $T_{a2g}$  вырезаются сегменты, соответствующие единичным сегментам  $A_1$  и  $A_2$ . Проверяется наличие ненулевых сегментов:  $A_{T1g} > 0$ ,  $A_{T2g} > 0$ . Если  $A_{T1g} = 0$  или  $A_{T2g} = 0$ , соответствующие РгП исключаются, чем формируются наборы ненулевых РгП, по числу реально используемых РП.

В рассматриваемом случае каждая из ЛгП имеет  $k$  термов; полный набор РП содержит не более  $k^2$  РП. Если термы определены с перекрытием не более 2, по каждому входному параметру реально работает не более 4 РП. Ненулевые  $A_{T1g}$  и  $A_{T2g}$  попарно комбинируются, задавая antecedentesные части РП. По каждому из правил должно искаться минимальное из значений ФП. Для проведения сравнения, сегменты в  $A_{T1g}$  и  $A_{T2g}$  выравниваются по ненулевому сегменту, после чего значение консеквентной часть РП определяется как ЛП нечеткое логическое "И" операндов antecedентной части:  $A_{T1g} \text{ and } A_{T2g} = \min(A_{T1g}, A_{T2g})$ . ЛП алгоритм выравнивания представлен в [6], алгоритм ЛП нечеткого логического "И" – в [3]. Результатом работы РП могут быть значения входных параметров ОУ  $V_j$  (рис. 1, выход УУ). ЛП алгоритмы поиска значений входных параметров  $V_j$ , включающие нахождение масок (координат) центров тяжести термов входных ЛгП и поиск средневзвешенных значений с масштабированием масок выровненными значениями, рассмотрены в [6]. Масштабирование осуществляется в соответствии с результатом **max-min**-процедуры [2]:

$$(a_{11} \text{ and } a_{21}) \text{ or } (a_{12} \text{ and } a_{22}) \text{ or } \dots \text{ or } (a_{1l} \text{ and } a_{2l}) = \max(\min(a_{1g}, a_{2g})), g=1,2,\dots, l.$$

**or** – ЛП нечеткое логическое "ИЛИ". ЛП алгоритмическая реализация подобной процедуры рассмотрена в [9], ЛП нечеткого логического "ИЛИ" – в [3].

Термы  $T_{aig}$  ( $g=1,2,\dots, k$ ) ЛгП  $A_i$  в ЛП представлении приобретают вид РгП:  $T_{aig} = \bar{\mu}_{aig}(x_{i1}) \oplus \bar{\mu}_{aig}(x_{i2}) \oplus \dots \oplus \bar{\mu}_{aig}(x_{ig})$ , где  $x_{i1}, \dots, x_{ig}$  – дискретные отсчеты значений выходного параметра  $A_i$  ОУ. Частота следования отсчетов должна быть достаточной для исчерпывающего представления фронтов профилей термов. Практически это значит, что фронт должен содержать, по крайней мере,  $2^q$  отсчетов для передачи всех градаций значений ФП. Необходимость воспроизведения фронтом ФП полного набора градаций очевидна: градации воспроизводятся только фронтами. Градации,

не представленные фронтами, никогда не будут воспроизведены в системе при преобразовании информации; следовательно, в рамках реальной точности системы, они избыточны. Как отмечалось, каждый из отсчетов представлен в  $T_{aig}$   $q$ -разрядным сегментом. Кроме  $T_{aig}$ , для ЛП корректировки требуется маска фронтов  $F_{aig}$ , вид которой пояснен примером: для  $p=12$ ,  $q=2$ , для одной градации управляющего воздействия ( $\uparrow \mu_{Aik}$ ,  $\mu_{Aik} \downarrow$  и др.):  $T_{aig}=(00)(00)(01)(10)(11)(11)(11)(11)(10)(01)(00)(00)$ ,  $F_{aig}=(00)(11)(11)(11)(11)(00)(00)(11)(11)(11)(00)$ . Ниже дана процедура получения  $F_{aig}$  для заданного терма  $T_{aig}$  на псевдокоде [10]. В ней "and", "or" и "xor" – побитовые логические операции; << и >> – поразрядный сдвиг влево и вправо; T – исходный терм, F – маска фронтов; M1 и M2 – промежуточные переменные; E0 – константа, содержащая единицы в  $rq$  младших разрядах [3],  $n$  – число градаций величины управляющего воздействия (см. табл. 1),  $q$  – разрядность сегмента.

**LP-Mask-of-Fronts (T)**

- 1 M1←T "and" E0
- 2 M2←T "xor" E0
- 3 F←E0 "xor" (M1 "or" M2)
- 4 F←F "or" (F >> nq)
- 5 F←F "or" (F << nq)

Процедура LP-Mask-of-Fronts (T) присоединяет к каждому из фронтов по  $n$  верхних (соответствующих  $\mu_A=1$ ) и  $n$  нижних (соответствующих  $\mu_A=0$ ) отсчетов (сегментов). Это позволяет далее модифицировать  $T_{aig}$  средствами ЛП нечеткой логики, как показано в табл.2 для случая  $n=1$ .

Таблица 2

Команда	$\uparrow a_{ik}$	$\downarrow a_{ik}$	$a_{ik} \uparrow$	$a_{ik} \downarrow$
Оператор	$T \leftarrow T \text{or} (F \ll q)$	$T \leftarrow T \text{and} (F \gg q)$	$T \leftarrow T \text{or} (F \gg q)$	$T \leftarrow T \text{and} (F \ll q)$

Изложенное утверждение соответствует ЛП корректировке термов: блоки 10, 13, 16 и 19, рис. 4. В рекурсивном режиме (блоки 11, 14, 17 и 20) процедурой LP-Mask-of-Fronts (T) строятся маски фронтов  $F_{aig(g-1)}$  и  $F_{aig(g+1)}$  для термов  $T_{aig(g-1)}$  и  $T_{aig(g+1)}$ . Далее при выполнении команд табл. 2 в по фиксированному набору правил проверяются возможности сжатия сопредельных термов (блоки 5 – 8, рис. 4). Критерием невозможности является  $M1=0$  (первая строка процедуры LP-Mask-of-Fronts (T)). При этом весь профиль сопредельного терма сдвигается:  $T_{aig(g-1)} \ll q$ ,  $T_{aig(g+1)} \gg q$ . При  $M1>0$  одним из операторов табл.2 смещается фронт сопредельного терма.

В целом, рассмотренный ЛП подход позволяет организовать согласованную корректировку термов ЛгП как в жестком, так и в "дальнодействующем" варианте. Согласованная корректировка структурно совместима с адаптивными нечеткими системами, в частности на ЭА [7]. Перспективной областью применения могут стать интеллектуальные системы с параллельным децентрализованным использованием и обновлением знаний.

**Список литературы:** 1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 2. IEC 1131 – Programmable Controllers. Part 7 – Fuzzy Control Programming. Committee Draft CD 1.0 (Rel. 19 Jan 1997). 3. Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Принцип локальной параллельности в задачах обработки нечеткой информации. Базовые операции // Доповіді НАН України. № 8. 1999. С.71–75. 4. Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Принцип локальной параллельности в задачах обработки нечеткой информации. Расширенный набор операций. // Доповіді НАН України. № 1. 2000. С.75–78. 5. Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Принципы организации систем нечеткого регулирования на однородных локально-параллельных алгоритмах. // «Управляющие системы и машины», 2001. № 3. С.3–10. 6. Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Принцип локальной параллельности в задачах обработки нечеткой информации. Организация системы управления. // Доповіді НАН України. № 12. 1999. С.103–107. 7. Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Организация эволюционных нечетких систем регулирования на локально-параллельных алгоритмах. // «Адаптивні системи автоматичного управління». Межведомственный научно-технический сборник. Днепропетровск: "Системні технології", 2001. Вып. 4(24). С.123–128. 8. Михаль О.Ф. Локально-параллельный алгоритм определения степени включения и степени равенства нечетких множеств // "Проблемы бионики". 2001. № 55. С. 80–90. 9. Михаль О.Ф. Локально-параллельный однородный алгоритм нечеткой дизъюнктивной суммы. // Новые решения в современных технологиях: Вестник ХГПУ. 2000. Вып. 128. С.52 – 58. 10. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 2001.

Поступила в редколлегию 26.09.2002

УДК 004.93

Э. А. ЗОЛКИНА

**МЕЖПОЛУШАРНАЯ АСИММЕТРИЯ ПРИ ОПОЗНАНИИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВ****Введение**

Функциональная асимметрия больших полушарий мозга человека общепризнанна. Но вопрос, какие специфические особенности деятельности каждого из полушарий, до сих пор ещё далеко не решён. Причина этого в том, что асимметрия проявляется только на самых высоких уровнях переработки зрительной информации, связанных с распознаванием образов, сохранением их в памяти, мысленными преобразованиями, а эти процессы изучены в недостаточной степени [1-4].

Для выявления специфических особенностей работы левого и правого полушарий головного мозга необходимо изучение основных параметров зрительного распознавания. В связи с обозначенными аспектами перед автором стояла проблема разработки программы для определения основных параметров зрительного распознавания двумерных изображений знакомых человеку объектов. К ним относятся время распознавания каждого изображения и всего предъявляемого набора, коэффициент асимметрии, показывающий направление асимметрии, количество правильных ответов даваемых испытуемыми при распознавании заданного набора изображений, скорость и количество воспринимаемой информации левым и правым полями зрения.

**Принцип работы программы.**

На экран дисплея то в левое поле зрения (ЛПЗ), то в правое поле зрения (ППЗ) в случайном порядке подавались плоские изображения, и испытуемый должен был распознать каждое из них. Яркость каждого из изображений в данной программе была задана следующим образом. Среди начальных условий есть количество ступеней яркости STEPS, то есть максимальный номер градации яркости возможный при эксперименте и время отображения одной ступени  $t$ , то легко определить время предъявления образа. Номер ступени яркости полученный из опыта лежит в интервале  $[0..STEPS]$ , обозначим его STEPIзм. Тогда время предъявления:  $T=t*STEPIзм$ . Связь уровня яркости картинка с выбранным количеством градаций яркости осуществляется следующим образом: каждая точка картинка представлена четырьмя числами (уровень красного, синего, зеленого и интенсивность) и пропорционально изменяя интенсивность, мы можем менять яркость всей картинка. Максимальной яркости соответствует текущая интенсивность точки  $I_{исх}$ , затем в зависимости от выбранного количества шагов яркости STEPS и номера текущего шага  $N$  интенсивность изменяется по формуле:

$$I=(I_{исх}/STEPS)*N$$

Итак, после начала эксперимента для каждого образа начинает работать счетчик ступеней яркости, отсчитывая их от 0. Значение счетчик нарастает через промежуток времени  $t$ , пока испытуемый не нажмет кнопку мыши (фиксируется, при какой яркости человек опознал изображение) или пока яркость изображения не станет максимальной. После этого значение счетчика используется для расчета времени распознавания. Для характеристики асимметрии при изучении временных параметров распознавания изображений, рассчитывали коэффициент асимметрии по следующей формуле  $K_{ас}=(Л-П)/(Л+П)$ , где  $Л$  и  $П$  – время опознания изображений соответственно для левого и правого полей зрения.

Рассмотрим, по каким принципам рассчитывались скорость и количество воспринимаемой информации [5].

При малых длительностях предъявления, когда испытуемый не всегда может правильно распознать изображение, среднее количество информации  $I$ , получаемой наблюдателем за одно предъявление может быть выражено суммой:

$$I = H(x) + H(y) - H(x, y)$$

где  $H(x)$  – энтропия распределения вероятностей  $p(x)$  различных изображений  $x$ ,

$H(x) = -\sum p(x) \cdot \log_2 p(x)$  (так как все  $n$  рисунков набора предъявляются с равной вероятностью,

то  $H(x) = \log_2 n$ );  $H(y)$  – энтропия распределения вероятностей  $p(y)$  различных ответов испытуемого

( $H(y) = -\sum p(y) \cdot \log_2 p(y)$ ).

В нашем случае рассматривается только два варианта ответов: испытуемый распознал или не распознал изображение. Поэтому:

$$H(y) = -(p(y1) \cdot \log_2 p(y1) + p(y2) \cdot \log_2 p(y2))$$

где  $p(y1)$  – вероятность появления правильного ответа;  $p(y2)$  – вероятность ошибочного ответа;  $H(x,y)$  – энтропия распределения вероятностей  $p(x,y)$  всех возможных сочетаний стимулов  $x$  и ответов  $y$ :  $H(x,y) = -\sum p(x,y) \cdot \log_2 p(x,y)$

В нашем случае определяется по формуле:

$$H(x,y) = -\sum (1/N) \cdot p(y2) \cdot \log_2 (p(y2)/N) = p(y2) \cdot \log_2 (p(y2)/N)$$

С увеличением длительности предъявления ответы становятся безошибочными, тогда количество воспринимаемой информации достигает предельного уровня, равного количеству задаваемой информации  $H(x)$ .

Для определения скорости восприятия информации необходимо разделить общее количество воспринятой информации  $I$  на время проведения эксперимента [6]. В нашем случае время проведения эксперимента определяется как произведение среднего времени, затрачиваемого на предъявление одного изображения на количество изображений:  $T = T_{\text{ср.и}} \cdot N$ . И так скорость восприятия информации:  $S = I/T$ . Единицей измерения такой скорости является количество двоичных единиц, переданных за секунду.

#### Описание процедур и функций:

Программа написана на языке C++ в среде BORLAND BUILDER, позволяющей реализовать удобный пользовательский интерфейс и обладающей большой функциональностью при работе с изображениями и файлами. Программа рассчитана на использование в графической оболочке операционной системы WINDOWS 95, 98 NT, 2000.

`void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)` – задание параметров по умолчанию при запуске программы;

`void __fastcall TForm1::SaveSymSeries(AnsiString FileName)` – сохранение в файле последовательности изображений;

`void __fastcall TForm1::LoadSymSeries(AnsiString FileName)` – загрузка последовательности изображений из файла;

`void __fastcall TForm1::SymOutExpDataMove()` - установка начальных параметров и передача данных для начала эксперимента по определению яркости изображений;

`void __fastcall TFlashForm::ShowSymbol()` – прорисовка изображения на экране;

`void __fastcall TForm4::MathCalc()` – просчет результатов эксперимента по определению яркости изображений;

`void __fastcall TForm4::SaveSymExpToFile(AnsiString FileName)` – сохранение результатов эксперимента в файле.

Методика проведения экспериментальных исследований по определению основных параметров зрительного распознавания.

Для выявления асимметрии, которая наблюдается при распознавании зрительной информации, мы воспользовались одним из наиболее широко известных методов при решении такого рода задач – тахистоскопическим. Принцип тахистоскопической подачи сигналов основан на особенностях структурно-функциональной организации зрительной системы человека. Объекты, которые находятся в левом поле зрения, раздражают правую половину сетчатки каждого глаза, нервные волокна из этих частей сетчатки обоих глаз направляются в зрительную кору правого полушария; зрительная информация из правого поля зрения поступает в левое полушарие и наоборот. [5] Предъявление зрительного стимула с левой или с правой стороны от точки фиксации на протяжении короткого времени предоставляет возможность предъявлять стимулы только одному полушарию.

Эксперимент проводился в тёмном помещении. На экран монитора унилатерально (то слева, то справа от точки фиксации) монокулярно (правому глазу испытуемого) предъявлялись двумерные

изображения. Перед началом каждого исследования задавались условия его проведения, время предъявления изображений, время перед предъявлением первого изображения, время между предъявляемыми изображениями, расстояние от испытуемого до экрана, расстояние от точки фиксации до стимула, длительность, цвет вспышки. Загружался заранее составленный набор двумерных изображений либо названия изображений набирались с клавиатуры (автоматически из файлов загружались требуемые изображения). Время перед предъявлением первого изображения составляло 3 секунды: глаза испытуемого приспособлялись к условиям проведения эксперимента. Затем на экран дисплея предъявлялись двумерные изображения животных. При определенной яркости испытуемый распознавал изображение. Экспериментатор ожидал нажатие клавиши мыши испытуемым и вел учет правильности ответа. После предъявления последнего зрительного образа на дисплей выводились результаты исследований и эксперимент, таким образом, завершался в противном случае предъявлялось следующее изображение, и эксперимент продолжался [6, 7].

### Результаты экспериментального исследования

Было проведено два эксперимента. В первом эксперименте исследовались такие параметры зрительного распознавания: время распознавания изображений, варьирующих по поворотам и скорость воспринимаемой информации для левого поля зрения (ЛПЗ) и правого поля зрения (ППЗ). Второй эксперимент заключался в выявлении количества воспринимаемой информации и времени распознавания изображений в условиях маскировки в ЛПЗ и ППЗ. В экспериментах участвовало 30 человек (студенты 1-4 курса ДонГИИИ) На экран дисплея унилатерально монокулярно подавались двумерные изображения  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ . Набор состоял из 40 изображений. В левое поле зрения (правое полушарие) подавалось 20 изображений и в правое поле – 20 изображений. Условия проведения данного эксперимента: время экспозиции каждого изображения 2 секунды, время между предъявлением очередного изображения 1 секунда. Полученные экспериментальные данные были обработаны на основе традиционных параметрических и непараметрических критериев математической статистики. Рассчитанные числовые характеристики для первого эксперимента: среднее время распознавания  $\bar{x}$ , дисперсия  $D$ , среднеквадратическое отклонение  $S$ ,  $\chi^2$  приведены в таблице 1.

Таблица 1

Определение информативных показателей зрительного распознавания изображений, варьирующих по поворотам.

№	Испытуемые	Время опознания								Скорость воспринимаемой информации							
		Левое поле зрения (ЛПЗ)				Правое поле зрения (ППЗ)				Левое поле зрения (ЛПЗ)				Правое поле зрения (ППЗ)			
		$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$
1	Г.О	1,2	1,3	1,5	1,2	1,9	1,5	1,8	2,0	1,6	0,9	1,3	0,6	0,7	0,9	1,1	0,5
2	Г.И	1,1	0,7	0,8	1,0	0,6	0,9	2,0	0,7	1,5	0,6	1,3	1,5	2,0	0,5	1	0,8
3	К.С	1,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,2	1,4	1,4	0,7	1,5	0,4	1,9	0,9	1,6	0,6	1,6
4	Н.А	1,7	1,8	1,7	2,0	1,6	1,3	1,6	1,5	0,8	1,4	1,1	1,7	0,8	1,3	1,0	1,4
5	Р.А	2,0	2,0	1,2	1,5	1,5	1,2	1,5	1,3	0,5	1,1	0,5	1,6	1	1	0,7	1,3
6	С.Т	2,0	1,7	1,8	0,9	1,7	2,0	0,9	2,0	0,7	0,8	1,2	0,9	1,0	1,4	1,3	0,4
7	Х.А	1,0	1,5	1,3	1	1,8	1,7	1,8	1,5	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1,0	1,2	0,6
...	...																
50	З.К	1,1	1,4	1,5	1,6	1,3	1,4	1,6	1,4	2	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,2	1,8
$\bar{x}$		1,2	1,4	1,5	1,7	1,2	1,5	1,7	1,8	2,5	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,2	0,9
$D$		0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
$S$		0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6
$\chi^2$		25	26	4,8	27	55	19	60	28	3,6	6,4	2,4	2,4	23	13	2,4	6,9

Результаты, полученные в ходе исследований по выявлению информативных показателей зрительного распознавания, представлены в виде логико-формальных моделей. В данном эксперименте в качестве входных параметров использовали: тип поля зрения (typefv), вектор признаков (x), угол поворота изображения (angle)

TYPE\_FV = {left (l), right (r)} – множество типов полей зрения (левое и правое поля)

type\_fv ∈ (TYPE\_FV)

ANGLE = {0°, 45°, 90°, 180°} – множество углов поворота изображений, angle ∈ ANGLE

X = {x<sub>i</sub>} – множество векторов признаков

x = (distance, imagesize, brightness, image, timeexposition, placeshow)

distance – расстояние от испытуемого до экрана, 0 < distance < maxd

imagesize – размер изображения, 0 < imagesize < maxs

brightness – яркость изображения, 0 < brightness < maxb

image – изображение

timeexposition – время экспозиции изображения,

0 < timeexposition < maxte

placeshow – место предъявления изображения,

placeshow ∈ {left, right}

В результате эксперимента было вычислено среднее время распознавания изображения и средняя скорость воспринимаемой информации для ЛПЗ и ППЗ. Ниже приводится функция SPEED, аргументами которой является тип поля зрения, угол поворота изображений, вектор признаков, а значением - средняя скорость воспринимаемой информации и функция TIME<sub>C</sub>, аргументом которой является средняя скорость воспринимаемой информации, а значением - среднее время распознавания

$$\text{SPEED}(\text{typefv}, \text{angle}, x) = C, \text{ TIME}_C(C) = t$$

$$t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, C = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}, N - \text{количество испытуемых}$$

Зависимость среднего времени распознавания от средней скорости воспринимаемой информации. отражает следующая логико-формальная модель

$$\forall \text{angle}_1 \in \text{ANGLE}, \text{angle}_2 \in \text{ANGLE}, x_1 \in X, x_r \in X,$$

$$C_{l1} \in R^+, C_{r1} \in R^+, C_{l2} \in R^+, C_{r2} \in R^+, t_{l1} \in R^+, t_{r1} \in R^+, t_{l2} \in R^+, t_{r2} \in R^+$$

$$((\text{SPEED}(\text{left}, \text{angle}_1, x_1) = C_{l1} \wedge \text{SPEED}(\text{right}, \text{angle}_1, x_1) = C_{r1} \wedge$$

$$\text{SPEED}(\text{left}, \text{angle}_2, x_1) = C_{l2} \wedge \text{SPEED}(\text{right}, \text{angle}_2, x_1) = C_{r2} \wedge$$

$$\text{TIME}_C(C_{l1}) = t_{l1} \wedge \text{TIME}_C(C_{r1}) = t_{r1} \wedge$$

$$\text{TIME}_C(C_{l2}) = t_{l2} \wedge \text{TIME}_C(C_{r2}) = t_{r2} \wedge$$

$$\text{angle}_1 < \text{angle}_2 \wedge x_1 = x_r \rightarrow (C_{l1} > C_{l2} \wedge C_{r1} > C_{r2} \wedge C_{l1} > C_{r1} \wedge C_{l2} > C_{r2} \wedge$$

$$t_{l1} < t_{l2} \wedge t_{r1} < t_{r2} \wedge t_{l1} < t_{r1} \wedge t_{l2} < t_{r2}))$$

где t<sub>l1</sub>, t<sub>r1</sub> – среднее время распознавания изображения с углом поворота 1 в ЛПЗ и ППЗ;

t<sub>l2</sub>, t<sub>r2</sub> – среднее время распознавания изображения с углом поворота 2 в ЛПЗ и ППЗ;

C<sub>l1</sub>, C<sub>r1</sub> – средняя скорость воспринимаемой информации в ЛПЗ и ППЗ с углом поворота 1;

C<sub>l2</sub>, C<sub>r2</sub> – средняя скорость воспринимаемой информации в ЛПЗ и ППЗ с углом поворота 2

Из модели видно, что с увеличением угла поворота предъявляемых изображений, время распознавания увеличивается, а скорость воспринимаемой информации уменьшается как для ЛПЗ, так и для ППЗ. Соответственно, чем меньше была скорость воспринимаемой информации, тем больше было нужно времени для распознавания изображений как в левом, так и в правом полях зрения. Распознавание изображений, варьирующих по поворотам, осуществляется обоими полушариями, но в данном эксперименте в правом полушарии время распознавания меньше, а скорость воспринимаемой информации больше по сравнению с левым полушарием. Возможно, это связано с трудностью выделения и вербализации опорных признаков стимулов данного класса.

Второй эксперимент состоял в выявлении информативных показателей зрительного распознавания в условиях маскировки изображений вспышкой света. Были рассчитаны числовые характеристики зрительного распознавания: среднее время распознавания  $\bar{x}$ , дисперсия D, среднеквадратиче-

ское отклонение  $S$ ,  $\chi^2$ , доверительный интервал (табл. 2) и среднее количество воспринимаемой информации  $\bar{x}$ , дисперсия  $D$ , среднее квадратическое отклонение  $S$ ,  $\chi^2$ , доверительный интервал (табл. 3)

Таблица 2

Выявление временных параметров зрительного распознавания в условиях маскировки изображений

Средние числовые характеристики	Время распознавания			
	Левое поле зрения (ЛПЗ)	Правое поле зрения (ППЗ)	Левое поле зрения (ЛПЗ)	Правое поле зрения (ППЗ)
	Без вспышки		Со вспышкой	
$\bar{x}$	1,418	1,2328	1,634	1,8228
$D$	0,180655	0,104288	0,172698	0,077092
$S$	0,425035	0,322937	0,41557	0,277655
$\chi^2$	7,59	4,2	6,83	1,43
Доверительный интервал	1.302-1,522	1,321-1,425	1,315-1,928	1,444-2,234

Таблица 3

Выявление количества воспринимаемой информации в условиях маскировки изображений

Средние числовые характеристики	Количество воспринимаемой информации			
	Левое поле зрения (ЛПЗ)	Правое поле зрения (ППЗ)	Левое поле зрения (ЛПЗ)	Правое поле зрения (ППЗ)
	Без вспышки		Со вспышкой	
$\bar{x}$	2,528	2,9392	2,100	1,7887
$D$	0,974883	0,705452	1,447947	1,041897
$S$	0,987362	0,839912	1,203307	1,020734
$\chi^2$	5,06	1,59	3,82	0,39
Доверительный интервал	2,000755 -2,561805	2,115288 -2,592552	2,006922-2,690678	1,937794-2,517806

Результаты, полученные в ходе исследований по выявлению информативных показателей зрительного распознавания, представлены в виде логико-формальных моделей. В качестве входных параметров использовали: тип поля зрения ( $type\_fv$ ), вектор признаков ( $x$ ), цвет вспышки. В результате проведенного эксперимента были вычислены среднее время распознавания изображения и среднее количество воспринимаемой информации в обычных условиях и в условиях маскировки. Был вычислен также коэффициент асимметрии для времени опознания, который показывает направление асимметрии.

Зависимость среднего времени распознавания от среднего количества воспринимаемой информации, которая передается в левое и правое поля зрения, отражает следующая логико-формальная модель.

В втором эксперименте как входные параметры использовали: тип поля зрения ( $typefv$ ), вектор признаков ( $x$ ), цвет вспышки ( $color$ )

$COLOR = \{red, blue\}$  – цветов вспышки,  $color \in COLOR$

В результате эксперимента было вычисленное среднее время распознавания изображения и среднее количество воспринимаемой информации без учета вспышки. Ниже приводится функция  $INFORM$  (количество воспринимаемой информации), аргументами которой является тип поля зрения, и вектор признаков, а значением – среднее количество информации и функция  $TIME$ , аргументом которой является среднее количество информации, а значением – среднее время распознавания

$INFORM(typefv, x) = I$ ,  $TIME_1(I) = t$

$$t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad I = \frac{\sum_{i=1}^N I_i}{N}, \quad \text{где } N - \text{ количество испытуемых}$$

Также было вычислено среднее время распознавания изображений и среднее количество информации с учетом вспышки. Низшее приводятся функция  $INFORM_r$  аргументами, которой является тип поля зрения, цвет вспышки, вектор признаков, а значением - среднее количество информации, и функция  $TIME_1$ , аргументом которой является среднее количество информации, а значением - среднее время распознавания

$$INFORM_r(\text{typefv}, \text{color}, x) = I, \quad TIME_1(I) = t$$

$$t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad I = \frac{\sum_{i=1}^N I_i}{N}. \quad N - \text{количество испытуемых}$$

Зависимость среднего времени распознавания от среднего количества воспринимаемой информации (без вспышки и со вспышкой) отображает следующая логико-формальная модель:

$$\begin{aligned} &\forall \text{color}_l \in \text{COLOR}, \text{color}_r \in \text{COLOR}, x_l \in X, x_r \in X, \\ &I_l \in R^+, I_r \in R^+, I_{fl} \in R^+, I_{fr} \in R^+, t_l \in R^-, t_r \in R^-, t_{fl} \in R^-, t_{fr} \in R^- \\ &((INFORM(\text{left}, x_l) = I_l \wedge INFORM(\text{right}, x_r) = I_r \wedge \\ &INFORM_r(\text{left}, \text{color}_l, x_l) = I_{fl} \wedge INFORM_r(\text{right}, \text{color}_r, x_r) = I_{fr} \wedge \\ &TIME_1(I_l) = t_l \wedge TIME_1(I_r) = t_r \wedge TIME_1(I_{fl}) = t_{fl} \wedge TIME_1(I_{fr}) = t_{fr} \wedge \\ &\text{color}_l = \text{color}_r \wedge x_l = x_r) \rightarrow \\ &(I_r < I_l \wedge I_{fl} < I_{fr} \wedge t_r < t_l \wedge t_{fl} < t_{fr} \wedge \\ &K(t_l, t_r) > 0 \wedge K(t_{fl}, t_{fr}) < 0), \end{aligned}$$

где  $K(t_l, t_r)$  – коэффициент асимметрии;

$I(t)$  – количество воспринимаемой информации для ЛПЗ и ППЗ;

$K(t_l, t_r)$  – коэффициент асимметрии;

$t_l, t_r$  – среднее время распознавания для ЛПЗ и ППЗ без учета вспышки;

$t_{fl}, t_{fr}$  – среднее время распознавания для ЛПЗ и ППЗ с учётом вспышки;

$I_l, I_r$  – среднее количество информации, которое воспринимается в ЛПЗ и ППЗ без учета вспышки;

$I_{fl}, I_{fr}$  – среднее количество информации, которое воспринимается в ЛПЗ и ППЗ с учётом вспышки.

Получили, что для ППЗ количество воспринимаемой информации меньше, чем для ЛПЗ, а в условиях маскировки направление асимметрии смещается в противоположную сторону и чем меньшее количество информации получает левое и правое поля зрения, тем время распознавания меньше и наоборот.

### Заключение

На основе полученных данных можно сделать выводы, что при распознавании двумерных изображений, варьирующих по поворотам, доминантным является правое полушарие. При распознавании же не повернутых изображений доминирующим является левое полушарие, а маскировка изображений вспышкой смещает направление асимметрии в противоположную сторону. Если предполагать, что в правом полушарии происходит параллельное сравнение признаков воспринятого стимула с информацией, которая сохраняется в памяти о стимулах, входящих в набор предъявляемых изображений, то нет основания ожидать более быстрых реакций. При этом правое полушарие осуществляет поэлементную оценку изображения, левое – выделяет наиболее важные признаки. Существование зависимости между временем от начала предъявления изображения до подачи маскирующего стимула и количеством воспринятой за это время информации даёт возможность предположить, что сложные признаки, которые разделяют друг от друга образы одного алфавита, обрабатываются один за другим. Если же мы с помощью маскировки ограничиваем время переработки зрительной информации, мы сокращаем число сложных признаков, которые успевают проверить система.

Данный программный продукт позволяет проводить экспериментальные исследования параметров зрительного распознавания изображений, варьирующих по поворотам, одновременно нескольких предъявляемых изображений, неполных изображений, замаскированных изображений и т.д.

и делать заключения об особенностях зрительного распознавания в левом и правом полях зрения человека.

**Список литературы:** 1. *Цвеловский С.Б.* Специализация полушарий при опознании зрительной информации. // Физиол. человека 1994, №2, Т.20, С.23 - 29. 2. *Казановская И.А.* Механизмы саморегуляции мозга и переработки зрительной информации. Рига: Зинатне, 1990. 189 с. 3. *Цигарели М.Г., Мосидзе В.М.* Полушарная функциональная специализация зрительного восприятия // Успехи физиологических наук. 1997. Т. 28, С.46-72. 4. *Золкина Э.А., Шульга Е.Ю.* Опознание зрительных образов полушариями мозга человека // Искусственный интеллект 2001, № 2, С. 58-65. 5. *Золкина Э.А.* Выявление параметров опознания зрительной информации // Математические машины и системы, №1. 6. *Золкина Э.А.* Временные параметры опознания двумерных изображений полушариями головного мозга человека // Искусственный интеллект. 2001, № 3, С.618-622. 7. *Шульга Е.Ю., Золкина Э.А.* Методика изучения сравнительных характеристик переработки зрительной информации в связи с асимметрией мозга человека // Искусственный интеллект. 2001, № 1, С.102-110.

*Поступила в редакцию 15.09.2002*

УДК 519.711

Ю. Н. ОГРАДИНА

## О ПОСТРОЕНИИ ФРАГМЕНТА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Проблемы эффективного взаимодействия человека и природы связаны с анализом слабоструктурированной проблемной области (ПО) и их решение требует привлечения современных методов концептуального моделирования ПО. Построение классификационных схем является первым шагом к систематизации эмпирических данных о сложной слабоструктурированной предметной области. Для построения концептуальной классификационной модели (ККМ) произвольной ПО был разработан метод системного классификационного анализа (СКА), учитывающий операциональные критерии естественной классификации (ЕК) и детерминантный подход к анализу ПО. Его использование позволяет оценить любую классификацию с точки зрения ее обоснованности, отражения в ней существенных свойств объектов и учесть глубинные знания о ПО.

В соответствии с методом, описанным в монографии [1], для построения концептуальной классификационной модели проблемной области (ККМ ПО) вначале необходимо провести анализ совокупности терминов, существующих в данной проблемной области. Затем провести детерминантный анализ проблемной области, т.е. определить внешнюю и внутреннюю детерминанты (функциональные запросы) для систем проблемной области, и используя его результаты построить классификационную модель ПО. В данной работе при построении фрагмента ККМ ПО использовались результаты детерминантного и классификационного анализа, полученные в работе [1].

На первом этапе построения концептуальной классификационной модели ПО был проведен анализ литературы по чрезвычайным ситуациям (статьи, учебники по гражданской обороне, законодательные акты). Рассмотрим существующую в этой области терминологию.

В настоящее время принято классифицировать ЧС по характеру событий – техногенные, социальные, военные, природные [2, 3].

Ограничим область рассмотрения техногенными ЧС, так как анализ, приведенный в [4] показывает, что нынешний уровень природно-техногенной безопасности Украины в значительной мере обусловлен чрезмерными техногенными нагрузками на природную среду. Промышленные регионы представляют собой зоны с чрезвычайно высокой степенью риска возникновения аварий и катастроф техногенного происхождения. И этот риск постоянно возрастает вследствие повышения части устаревших технологий и оборудования, снижения темпов восстановления и модернизации производства. Изношенность основных производственных фондов во всех областях народного хозяйства Украины составляет в среднем 50 процентов [4].

Рассмотрим пример построения фрагмента ККМ ЧС на одной из "наиболее характерных для Украины природно-техногенной опасности – загрязнении окружающей среды нефтепродуктами" [5, С. 6]. Для этого необходимо рассмотреть аварии в нефтеперерабатывающей промышленности и на нефтепроводном транспорте, который остается самым большим источником чрезвычайных ситуаций в нефтегазовой промышленности [6, С. 45]. Заводы (или их комплексы) по переработке нефти относятся к химически опасным предприятиям [6, 7].

Для термина "ЧС техногенного характера" в настоящий момент общепринятым считается следующее определение:

- "ЧС техногенного характера – транспортные аварии (катастрофы), пожары, неспровоцированные взрывы или их угроза, аварии с выбросом (угрозой выброса) опасных химических, радиоактивных, биологических веществ, мгновенное разрушение зданий и строений, аварии в инженерных сетях и строениях жизнеобеспечения, гидродинамические аварии на плотинах, дамбах и т.п." [2, С. 50].

С точки зрения формальной логики данное определение не удовлетворяет правилам построения определений понятий [8]: не отображает существенные свойства понятия "ЧС техногенного характера", не является родовидовым определением. В данном определении понятие задается перечислением входящих в него элементов. Поэтому рассмотрим определение для синонимов данного понятия (см. [2, 4, 9]) – понятия "авария" и "катастрофа".

"Авария – опасное событие техногенного характера, которое создает на объекте, или территории угрозу для жизни и здоровья людей и приводит к разрушению строений, сооружений, оборудо-

вания и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса или наносит ущерб окружающей среде" [2, С. 53].

"Катастрофа – большая по масштабам авария или другое событие, которое приводит к тяжким, трагическим последствиям" [2, С. 53].

В статье [10] аварии рассматриваются как один из видов катастроф – "антропогенные" или "техногенные катастрофы" [10, С. 44].

Чрезвычайные ситуации техногенного характера (аварии) классифицируют по следующим основными признаками (основаниям деления):

по масштабами последствий (территориальное распространение, объем причиненных или ожидаемых экономических убытков, количество погибших людей):

– объектового, местного, регионального и общегосударственного уровня для Украины [2,4,9];

– локальные, местные, территориальные, региональные, федеральные, трансграничные для РФ [11];

по отраслевым признакам (чрезвычайные ситуации – в сельском и лесном хозяйствах, в заповедной территории, на объектах особого природоохранного значения, в водоемах, на объектах промышленности, транспорта, жилищно-коммунального хозяйства) [2].

"Чрезвычайная ситуация общегосударственного уровня – это ЧС, которая развивается на территории двух или больше областей (Автономной Республики Крым, городов Киева и Севастополя) или угрожает трансграничным перенесением, а также в случае, если для ее ликвидации необходимы материалы и технические ресурсы в объемах, которые превышают собственные возможности отдельной области (Автономной Республики Крым, городов Киева и Севастополя), но не меньше одного процента объема расходов соответствующего бюджета.

ЧС регионального уровня – это ЧС, которая развивается на территории двух или больше административных районов (городов областного значения), Автономной Республики Крым, областей, городов Киева и Севастополя или угрожает перенесением на территорию смежной области Украины, а также в случае, если для ее ликвидации необходимы материалы и технические ресурсы в объемах, которые превышают возможности отдельного района, но не меньше одного процента объема расходов соответствующего бюджета.

ЧС местного уровня – это ЧС, которая выходит из границ потенциально опасного объекта, угрожает распространением самой ситуации или ее вторичных последствий на окружающую среду, соседние населенные пункты, инженерные сооружения, а также в случае, если для ее ликвидации необходимы материалы и технические ресурсы в объемах, которые превышают возможности потенциально опасного объекту, но не меньше одного процента объема расходов соответствующего бюджета. К местному уровню принадлежат также все чрезвычайные ситуации на объектах жилищно-коммунальной сферы и других, которые не входят в утвержденные перечни потенциально-опасных объектов.

ЧС объектового уровня – это ЧС, которая разворачивается на территории объекта или на самом объекте, и последствия которой не выходят за границы объекта или его санитарно-защитной зоны" [12, С. 50-51].

Существующие классификации не удовлетворяют формально-логическим требованиям к построению классификаций, так как при классификации чрезвычайных ситуаций на первом уровне все ЧС делятся по основанию «характер событий» на техногенные, природные, социально-политические и военные, а на следующем уровне техногенные ЧС делятся по основаниям «отраслевой признак» и «масштаб последствий», таким образом, не соблюдается правило деления объема понятий о постоянном основании деления.

"Авария с выбросом (разливом) химических веществ – авария на химически опасном объекте, которая сопровождается выбросом (разливом) опасных химических веществ, и может привести к гибели или химическому поражению людей" [9, с.34-35].

"Авария на трубопроводе – авария на трассе трубопровода, связанная с выбросом (разливом) вредных химических или пожаровзрывоопасных веществ, которая привела к гибели людей или получению ними телесных повреждений или причинила ущерб окружающей среде. В зависимости от вида транспортируемого продукта, различают аварии на газопроводах, нефтепроводах, продуктопроводах и других трубопроводах" [9, с.36].

Приведенные определения являются родовидовыми, где родовым является понятие "авария", видовыми отличиями являются сфера возникновения аварии ("химически опасный объект", "трасса трубопровода").

В приложении 2 к Положению о классификации чрезвычайных ситуаций [3] можно выделить следующие типы ЧС, относящихся к области загрязнения окружающей среды нефтепродуктами (см. табл.):

Код сферы возникновения	Наименование чрезвычайных ситуаций
10000	ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА
10100	Транспортные аварии (катастрофы)
10103	Аварии грузовых судов, в том числе нефтеналивных
10110	Аварии на транспорте с выбросом (угрозой выброса) СДЯВ
10200	Пожара, взрывы
10201	Пожара (взрывы) в сооружениях, на коммуникациях и технологическом оборудовании промышленных объектов
10202	Пожара (взрывы) на объектах разведки, добыча, переработки, транспортировки и хранения легковоспламеняющихся, горючих, а также взрывчатых веществ
10206	Пожара на радиационно-, химически- и биологически опасных объектах
10300	Аварии с выбросом (угрозой выброса) СДЯВ на объектах экономики (кроме транспортных)
10301	Аварии с выбросом (угрозой выброса), образование и распространение СДЯВ во время производства, переработки или сохранения (захоронение)
10400	Наличие в окружающей среде вредных веществ свыше ПДК
10401	Наличие в почве вредных веществ свыше ПДК
10402	Наличие в атмосферном воздухе вредных веществ свыше ПДК
10403	Наличие в поверхностных водах вредных веществ свыше ПДК
10404	Наличие в питьевой воде вредных веществ свыше ПДК
10405	Наличие в подземных водах вредных веществ свыше ПДК

Анализируя приведенные выше определения, с точки зрения требований формальной логики в данной области можно отметить следующую ситуацию:

- ♦ в совокупности терминов встречаются пересечения, например, термины "авария" и "катастрофа" соответствуют термину "техногенная чрезвычайная ситуация", однако нет четкого соответствия между классификацией техногенных ЧС по масштабам последствий и использованием терминов авария или катастрофа, например ЧС объектового, местного уровня – это аварии, а ЧС регионального и общегосударственного уровня – это катастрофа;

- ♦ часто отсутствуют родовидовые определения понятий, видовые, родовые понятия и понятия видовых отличий, в особенности на нижних уровнях иерархии понятий;

- ♦ часто отсутствуют термины для единичных понятий, например, понятие "авария на нефтепроводе" обозначает все аварии, независимо от их причин или последствий;

С точки зрения требований системологического терминологического анализа отсутствуют понятия, отражающие функциональные свойства систем ПО – вид отрицательного влияния (причина), вид нарушаемого установившегося процесса (следствие) и вид требуемых мер по ликвидации [1].

Таким образом, выявленная совокупность терминов не соответствует показателям полноты, связности и функциональности системы понятий и необходимо устранение пересечений, противоречий и пробелов в выделенной совокупности терминов для приближения к терминосистеме. Т.е. для построения ККМ ЧС необходимо разработать родовидовые определения понятий, определения видовых и родовых понятий, понятий видовых отличий, отражающие функциональные свойства систем (терминов) данной ПО.

Рассмотрим построение фрагмента ККМ ЧС для функционального свойства "вид отрицательного влияния (причина)" [1]. Для этого проанализируем литературу [2-7, 9-13] и выделим возможные причины техногенных ЧС.

Значительное влияние на риск возникновения чрезвычайных ситуаций имеют также следующие причины:

- "отсутствие современных систем управления опасными процессами;
- низкая профессиональная подготовка персонала и населения к действиям в экстремальных условиях;
- возрастающий дефицит квалифицированных кадров;
- низкий уровень применения прогрессивных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий;

- низкий уровень жизни большинства населения" [3, С. 35].

"...причины ... носят конструктивный, производственный, технологический или эксплуатационный характер" [13, С. 46].

"... наряду с такими факторами аварийности, как старение оборудования и эксплуатация технических средств с продленным ресурсом, следует учитывать и фактор повышения вероятности ошибок операторов всех уровней" [14].

"... в "срыве" любой технологии, и тем более в решениях, заложенных в губительной технологии, всегда есть элементы психогенной природы – незнание, недоделка, халатность, иногда спешка при изготовлении деталей, приборов в отсутствие средств для создания дублирующих механизмов, очистных сооружений, профилактической сигнализации, явные ошибки в расчетах, нарушения техники безопасности" [10, С. 45].

"Основными причинами аварийности на трубопроводном транспорте является изношенность труб, неисполнение нормативных объемов планово-предупредительных ремонтов, несвоевременное выполнение ремонтов. .... остаются проблемой преступные повреждения трубопроводов" [6, С. 45].

В работе [3] выделяют следующие основные причины возникновения ЧС техногенного характера в Украине:

- "неудовлетворительное выполнение и нарушение требований технологии производства при значительной нравственной и физической изношенности основных производственных фондов предприятий Украины;

- неудовлетворительное материально-техническое обеспечение производства, низкий уровень культуры производства;

- неудовлетворительное состояние сохранения, утилизации и погребение отходов;

- игнорирование экологических факторов, требований государственных и отраслевых стандартов, техники безопасности, иных норм " [3, С. 34-35].

Выделяют также следующие причины возникновения ЧС на нефтеперерабатывающих предприятиях и трубопроводах.

- неисправности в системе контроля параметров технологических процессов;

- неполадки в системе контроля и обеспечения безопасности производства;

- организационная и человеческая ошибка;

- повреждение в системе запуска и остановки технологического процесса, что может привести к возникновению взрывоопасной обстановки" [9, С. 35].

Возникновение аварий может быть следствием вытекания большого количества опасных химических веществ, причинами которого могут быть:

- "заполнение резервуаров для хранения свыше нормы при ошибках в работе персонала и выход из строя систем безопасности, которые контролируют уровень;

- повреждение вагона – цистерны с химически опасными веществами или емкостей для их хранения вследствие выхода из строя систем безопасности, которые контролируют давление;

- полимеризация химически опасных веществ в резервуарах для их хранения;

- вытекание химически опасных веществ из насосов;

- вытекание химически опасных веществ из труб, использование неприемлемых материалов, экзотермические реакции из-за выхода из строя системы безопасности;

- при изготовлении деталей оборудования, потере энергии, отказе в работе машин и прочее" [9, С. 35].

Анализируя и обобщая приведенные выше сведения и полученные в работе [1] результаты построения ККМ ЧС, можем выделить следующие 2 вида причин аварий в нефтегазовой промышленности – политические (см. рис.1) и техногенные (см. рис. 2).

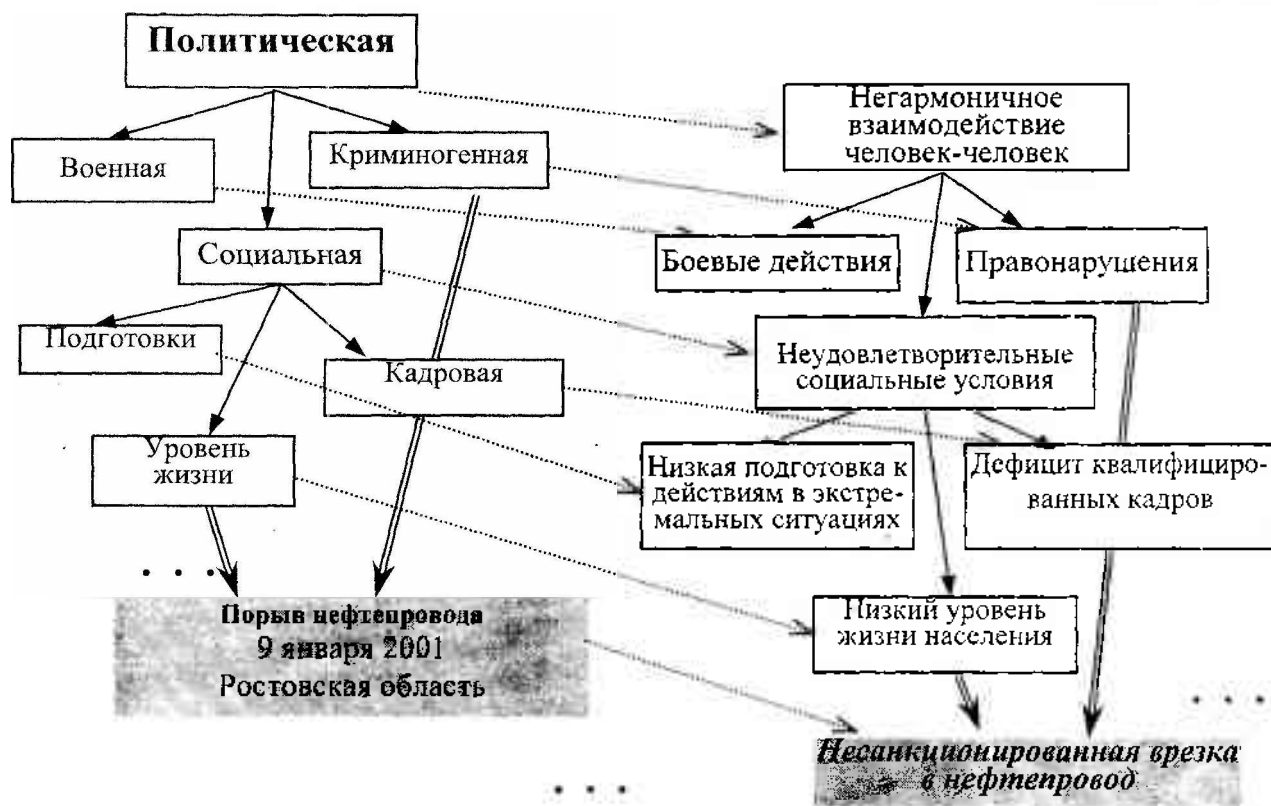


Рис. 1.  
Фрагмент ККМ ЧС (политические) по функциональному свойству «отрицательное влияние» (причине)

Таким образом, построен фрагмент ККМ техногенных ЧС аварий в нефтеперерабатывающей промышленности. Достраивая аналогичным образом остальные фрагменты модели, получим полную модель области ЧС, которая может быть использована как основа для разработки базы знаний интеллектуальной системы анализа и прогнозирования ЧС.

Список литературы: 1. Соловьева Е.А. Естественная классификация: системологические основания. Харьков: ХТУРС. 1999. 222 с. 2. Депутат О.П., Коваленко І.В., Мужик І.С. Цивільна оборона. Навчальний посібник/ За ред. полковника В.С. Франчука. Львів: Афіша. 2000. 336 с. 3. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 1998 р. № 1099 "Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій", Київ. 4. Дурдинець В.В., Патон Б.Є Стан природно-техногенної безпеки України та основні напрями підвищення її рівня// Надзвичайна ситуація. 2001. № 2. 96 с. 5. Соколов В. Є всі передумови, щоб працювати на "відмінно" // Надзвичайна ситуація. 2001. № 3. С. 5-7. 6. О. Подрезос Аналіз надзвичайних ситуацій на Україні за 1998 рік (Узагальнений матеріал)// Надзвичайна ситуація. 1999. № 3. с. 42-47. 7. Гражданская оборона: Учебное пособие// Под ред. А.Г. Алтухина. М.: Воениздат. 1982. 192 с. 8. Кондаков Н.И. Логический словарь-справочник. Москва: Наука. 1975. 720 с. 9. Види аварій, катастроф і стихійного лиха // Надзвичайна ситуація. 1999. № 5. с. 33-37. 10. Зербіно Д. Антропогенні екологічні катастрофи (термінологія, номенклатура, "сценарії")// Надзвичайна ситуація. 1999. № 7. с. 44-45. 11. Федеральный закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера". Классификация ЧС //www.emercom.gov.ru 12. Види аварій, катастроф і стихійного лиха // Надзвичайна ситуація. 1999. № 4. с. 50-52. 13. Зозуля І. Звідкіля родом технокатастрофа? // Надзвичайна ситуація. 1999. № 9. с. 46-47. 14. Официальный информационный сервер МЧС РФ. Прогноз возникновения чрезвычайных ситуаций на территории Российской Федерации в 2001 г. <http://www.emercom.gov.ru>

Поступила в редакцию 19.08.2002

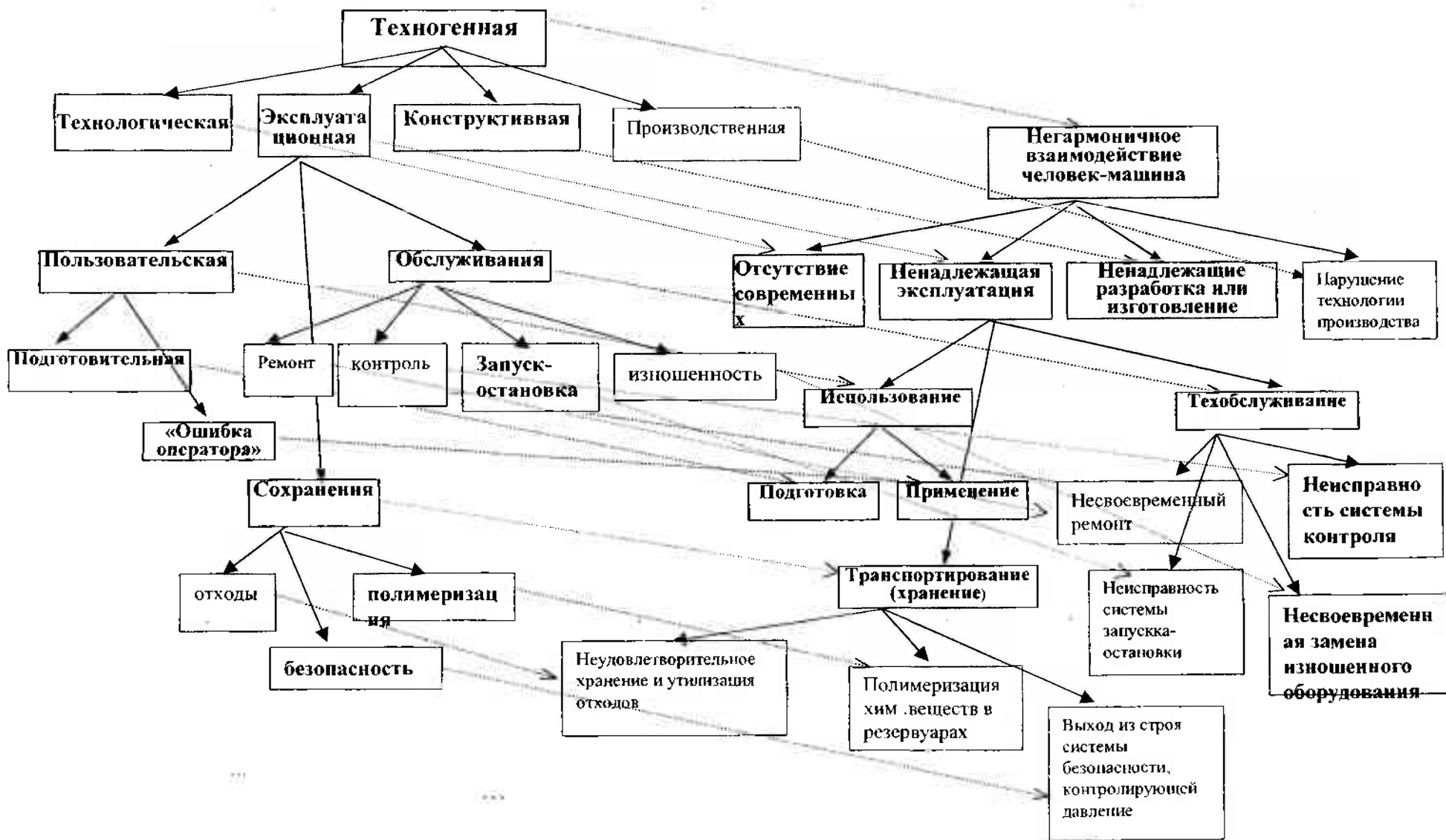


Рис. 2.

Фрагмент ККМ ЧС (техногенные) по функциональному свойству «отрицательное влияние» (причине)

УДК 535.361.2

Н. Л. ЛИСИЧЕНКО

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СРЕДЫ В ПРОЦЕССАХ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Пересечение путей различных научных направлений всегда плодотворно [1]. Внедрение низкоэнергетических лазерных технологий в сельскохозяйственное производство тесно пересекается с бионическими проблемами. Так, с одной стороны, данный вид новых технологий базируется на взаимодействии низкоэнергетического когерентного излучения оптического диапазона с биологическими объектами на уровне клетки и отдельных ее структур в водной и других средах, с другой – клеточное ядро само является источником электромагнитных полей [2], а лазерное излучение стимулирует собственное радиоизлучение биотканей и водных растворов [3]. Механизм того и другого явлений, безусловно, требует отдельного изучения и уточнения, что не ограничивает возможности их использования на практике. Очевидно, биологическая среда откликается на данное электромагнитное воздействие определенными структурными изменениями [4], что может влиять на показатели преломления среды для данного диапазона излучения.

Лазерное излучение является электромагнитным излучением оптического диапазона. В связи с этим, для решения задач связанных с определением величины поглощения лазерного излучения биологической средой можно воспользоваться законами геометрической оптики, однако следует отметить, что они справедливы только для оптически прозрачных сред. Полное же решение, можно получить на основе дифференциальных уравнений Максвелла [5], описывающих распространение электромагнитного поля в материальной среде независимо от его оптической прозрачности:

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \left( \bar{J} + \frac{d\bar{D}}{dt} \right); \quad \operatorname{div} \bar{D} = \rho \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \bar{E} = -\frac{d\bar{B}}{dt}; \quad \operatorname{div} \bar{B} = 0$$

где  $\bar{H}$  – напряженность магнитного поля;  $\bar{E}$  – напряженность электрического поля;  $\bar{D}$  – электрическая индукция;  $\bar{J}$  – плотность электрического тока;  $\bar{B}$  – магнитная индукция;  $\rho$  – плотность электрического заряда.

Уравнения (1) дополняются материальными уравнениями:

$$\bar{D} = \varepsilon \bar{E}; \quad \bar{J} = \delta \bar{E}; \quad \bar{B} = \mu \bar{H} \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость;  $\delta$  – проводимость;  $\mu$  – магнитная проницаемость среды.

Для большинства биологических объектов ( $\rho = 0$ ), а решениями уравнения (1) является функция удовлетворяющие волновому уравнению:

$$\nabla^2 \bar{\Omega} + k^2 \bar{\Omega} = 0 \quad (3)$$

Частным случаем решения уравнения (3) является функция вида:

$$\bar{\Omega} = \bar{\Omega}_0 e^{i(\omega t - kr)} \quad (4)$$

где  $\omega$  – круговая частота электромагнитной волны;  $r$  – пространственная координата;  $k$  – комплексное волновое число (коэффициент распространения волны).

Коэффициент  $k$  связывает параметры электромагнитного поля с электрофизическими свойствами среды. При этом, имеет место следующее соотношение:

$$k = \mu \omega \nu \quad (5)$$

где  $\nu$  – характеристическая проводимость среды.

Которую можно определить как  $\nu = \sqrt{\frac{\varepsilon\omega - i\sigma}{\mu\omega}}$ .

Для практических расчетов комплексное волновое число лучше представить в классическом виде:

$$k = \beta - i\alpha \quad (6)$$

Тогда из выражения (5) получим:

$$\begin{aligned} k^2 &= \mu\varepsilon\omega^2 - i\mu\omega\sigma & k^2 &= |k^2|e^{i\varphi_k} \\ |k^2| &= \sqrt{\mu^2\varepsilon^2\omega^4 + \mu^2\omega^2\sigma^2} & \varphi_k &= \arctg\left[-\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}\right] \end{aligned} \quad (7)$$

В результате для расчета значений  $\beta$  и  $\alpha$  получим:

$$\beta = \sqrt{\mu^2\varepsilon^2\omega^4 + \mu^2\omega^2\sigma^2} \cdot \cos\left(\frac{\varphi_k}{2}\right), \quad -\alpha = \sqrt{\mu^2\varepsilon^2\omega^4 + \mu^2\omega^2\sigma^2} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_k}{2}\right) \quad (8)$$

С учетом того, что проводимость биологической среды достаточно мала, а частота электромагнитной волны оптического диапазона имеет порядок  $10^{16} \dots 10^{17}$  Гц, то из выражения (7) получим:

$$|k^2| \approx \sqrt{\mu^2\varepsilon^2\omega^4}, \quad \varphi_k \approx -\frac{\sigma}{\varepsilon\omega} \rightarrow 0 \quad (9)$$

Тогда из (8) получим приближенные выражения для действительной и мнимой составляющей комплексного волнового числа:

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}, \quad \alpha = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} \cdot \frac{1}{2} \frac{\sigma}{\varepsilon\omega} = \frac{1}{2} \sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \quad (10)$$

Полагая  $\mu = \mu_0\mu_r$  и  $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$ , где  $\mu_r, \varepsilon_r$  - соответственно относительные магнитная и диэлектрическая проницаемость;  $\mu_0, \varepsilon_0$  - магнитная и диэлектрическая постоянные, получим:

$$\beta = \omega\sqrt{\mu_r\varepsilon_r} \cdot \sqrt{\mu_0\varepsilon_0}, \quad \alpha = \frac{1}{2} \sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \cdot \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad (11)$$

С учетом точных значений  $\mu_0, \varepsilon_0$ :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}; \quad \varepsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2} \text{ Ф/м};$$

получим следующие значения выражения для  $\beta$  и  $\alpha$ :

$$\beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\mu_r\varepsilon_r}, \quad \alpha = 2\pi c \cdot 10^{-7} \sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \quad (12)$$

С учетом того, что для большинства биологических сред  $\mu_r = 1$  конечное выражение (12) имеет вид:

$$\beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon_r}, \quad \alpha = 2\pi c \cdot 10^{-7} \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (13)$$

где  $c$  - скорость света в вакууме.

Анализ выражения (13) показывает, что  $\beta$  зависит от частоты электромагнитного поля и от диэлектрической проницаемости среды. Если рассматривать выражение для  $\alpha$ , то может, создается

неверное суждение, что  $\alpha$  от частоты поля не зависит. Ошибка заключается в том, что не учитывается изменение  $\varepsilon_r$ , например, для воды в оптическом диапазоне при  $\lambda = 6 \cdot 10^{-6}$  м имеем  $\varepsilon_r = 1,7$ , а в сантиметровом диапазоне при  $\lambda = 10^{-1}$  м имеем  $\varepsilon_r = 81$ .

В классической научно-технической литературе посвященной исследованию распространения оптического излучения в мутных средах, комплексное волновое число часто представляют в виде [6-8]:

$$k = k_0 m \quad (14)$$

где  $k_0$  – волновое число для вакуума ( $k_0 = \omega / c$ );  $m$  – комплексный показатель преломления.

Комплексный показатель преломления можно представить в виде:

$$m = n(1 - ix) \quad \text{или} \quad m = n - iy \quad (15)$$

где  $n$  – показатель преломления;  $x$  – индекс поглощения;  $y$  – показатель поглощения ( $y = nx$ ).

Тогда с учетом выражений (6), (13) и (15) получим:

$$n = \sqrt{\varepsilon_r}, \quad \gamma = \frac{2\pi c^2}{\omega} \cdot 10^{-7} \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}}, \quad x = \frac{2\pi c^2}{\omega} \cdot 10^{-7} \frac{\sigma}{\varepsilon_r} \quad (16)$$

С учетом равенств:  $\omega = 2\pi f$  и  $c = \lambda f$  связывающих длину и частоту электромагнитной волны, выражения (13) и (16) преобразуются к виду:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\varepsilon_r}; & \gamma &= 30\lambda \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}}; \\ \alpha &= 60\pi \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}}; & x &= 30\lambda \frac{\sigma}{\varepsilon_r}; \end{aligned} \quad (17)$$

Выражение (4) в соответствии с (14), (15) может быть представлено в виде:

$$\bar{\Omega} = \bar{\Omega}_0 e^{i(\omega t - k_0 r)} \cdot e^{-k_0 r} \quad (18)$$

представляющем плоскую волну в среде длиной  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = \frac{2\pi}{k_0 n} = \frac{\lambda}{n}$$

Амплитуда волны убывает на величину  $e^{-\alpha r}$ , где  $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \gamma$ .

Что же касается интенсивности оптического излучения, то она убывает по закону  $e^{-\alpha^* r}$ , где  $\alpha^* = 2\alpha = 180\pi \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}}$ .

На основании приведенных соотношений нами были рассчитаны значения  $\beta$  – для разбавителя спермы рис. 1. Как показывает анализ выражения для  $\alpha$ , различие в поглощении электромагнитной волны будет определяться проводимостью среды. На рис. 2 представлены значения  $\alpha$  для спермы сельскохозяйственных животных.

В заключение следует отметить следующее: комплексный показатель преломления  $m = n - iy$ , зависит не только от диэлектрических свойств сред, но и от электрической проводимости среды и длины волны излучения:

$$m = n - iy, \quad n = \sqrt{\varepsilon_r}, \quad \gamma = 30\lambda \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

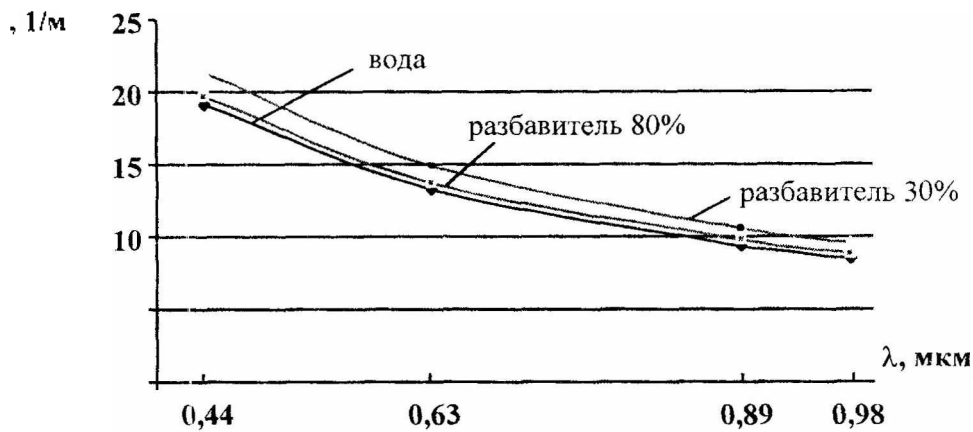


Рис. 1.

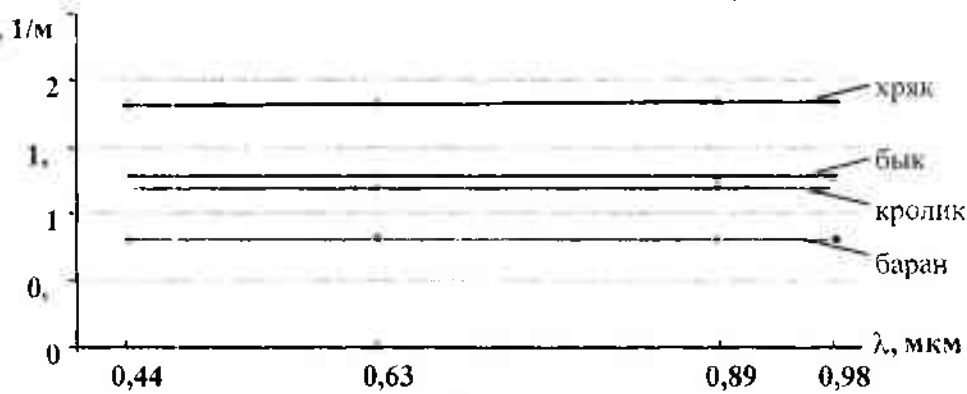


Рис. 2.

В диапазоне излучения  $\lambda = 0,44 \dots 0,98$  мкм коэффициенты затухания  $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \gamma$  являются постоянными величинами для данного вида спермия животных.

Вещественная часть  $\beta$  комплексного волнового числа  $k = k_0 m$  для растворителя существенно зависит от длины волны  $\lambda$  и от плотности раствора, например, степени разбавления спермы хряков, что требует технология искусственного осеменения свиноматок [9-10].

**Список литературы:** 1. Волькенштейн М.В. Перекрестки наук. М.: Наука, 1972. 335с. 2. Шахбазов В.Г. Рецелция лазерного облучения организма и метод контроля эффективности лазеротерапии. // Матер. XI Межд.науч.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (6-10 октября 1998 г.) Ялта: НИИ ЛБ и ЛМ ХГУ, 1998. С.6. 3. Петросян В.И., Саницин Н.И., Елкин В.А., Бриль Г.Е., Разумник Д.А. Лазеро-стимулированные радиоизлучения биотканей и водных сред. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. №2. С.52-57. 4. Лисиченко Н.Л., Ромаданова Э.А., Надрид О.А., Дюбко Т.С., Рошаль А.Д. Структурные изменения компонент спермы хряка при действии малых доз лазерного излучения. // Фотобиология та фотомедицина. 2000. №3,4. С.86-89. 5. Тамм И.Е. Основы теории электричества. 10-е изд. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 504с. 6. Шифрин К.С. Рассеивание света в мутной среде. М.Л.: Техничко теоретическая литература, 1951. 288 с. 7. Иванов М.Л., Оптика рассеивающих сред. Минск: Наука и техника, 1969. 592 с. 8. Вукс М.Ф. Рассеяние света в газах, жидкостях и растворах. Л.: Из-во Ленингр. ун-та, 1977. 320 с. 9. Лисиченко М.Л., Столяров О.В., Беликов А.А. Застосування лазерного випромінювання для активізації спермійв кнурів-плідників. // Науковий вісник НАУ "Проблеми фізіології патології відтворення тварин" К.: НАУ, 2000. Вип. 22. С.144-146. 10. Лисиченко М.Л., Столяров А.В., Беликов А.А., Ковтун В.Н., Темир О.И. Игнатуша Ю.Ф. Влияние параметров лазерного излучения на эффективность оплодотворения свиноматок. // Фотобиология и фотомедицина. 2001. №1, 2. С.120.

Поступила в редколлегию 27.08.2002

УДК 519.688 + 519.683.7

С. И. МАТОРИН

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОБРАЗОВ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В ходе целенаправленного развитие системологической теории и технологии моделирования организационных систем, осуществляемого лабораторией Приобретения знаний ХНУРЭ (см., например [1]), решается проблема эффективной формализации процедур системологического (системно-объектного) анализа и моделирования. Рассмотрим результаты выбора адекватного математического аппарата и некоторые результаты его применения для моделирования организаций.

При выборе математического аппарата для формализации системологического моделирования, очевидно, полезно учесть мнение практикующих специалистов аналитиков, состоящее в том, что системный анализ, хотя и может в той или иной степени дополняться математическим анализом, «однако как сфера его применения, так и методология значительно отличаются от предмета и методологии формально-математических исследований» [2, с. 186]. В той же работе подчеркивается, что «в качестве основного и наиболее ценного результата системного анализа признается не количественно определенное решение проблемы, а увеличение степени ее понимания (!) и возможных путей решения специалистами, участвующими в решении проблемы, и, что особенно важно, у ответственных лиц, которым представляется набор хорошо проработанных альтернатив» [2, с. 187]. Это мнение полностью согласуется с мнениями зарубежных классиков системного анализа [3], а также современных отечественных специалистов [4].

Сложность выбора математического аппарата обусловлена, в первую очередь, отсутствием в рамках классической математики средств, позволяющих различить собственно «систему» с ее специфическими особенностями (целостность, системный эффект и г.д.) и «множество». Несмотря на это адекватный аппарат, по мнению автора, существует, хотя и не является, пока, широко распространенным. В роли математического аппарата, способного адекватно и интегрально описывать структурные, функциональные и субстанциальные аспекты организационных систем, может выступить созданная в конце 60-х годов У. Гренандером (Университет Брауна, США) *теория паттернов*, представляющая собой, по мнению, например, академика Ю. Журавлева (см. предисловие к работе [5]), новое направление прикладной математики. Данная теория «обладает большой гибкостью, оригинальностью, глубиной математических и философских идей и может быть использована в различных областях знаний» [6]. «Методы теории паттернов все чаще применяются в микробиологии, медицине, математической лингвистике и распознавании радиолокационных и инфракрасных целей». Исследования, проводимые специалистами ВНИИПВТИ (г. Москва), показали, что теория паттернов «является эффективным средством решения практических задач в области компьютерных информационных систем» и применяется ими для формального описания методов проектирования ИС предприятий и организаций (в частности методов IDEF) [7].

Рассмотрим особенности данной теории, побудившие выбрать для формализации процедур системологического моделирования (УФО-анализа [1]) именно ее, более подробно.

Самыми важными особенностями являются, естественно, основные принципы данной теории, из которых в соответствии с работой [5] следует отметить *атомистичность, комбинаторность и наблюдаемость*.

Принцип атомистичности состоит в том, что сложные (производные) объекты, изучаемые данной теорией, порождаются всегда с использованием определенных непроеизводных элементов, которые в теории именуются *образующими*. Данный принцип соответствует нормативному способу построения методов системного анализа, языка объектного моделирования (UML) и широко использовался при разработке нормативной системы УФО-анализа путем создания адаптивного формально семантического алфавита. Можно сказать, что данный принцип в системологическом моделировании однозначно применяется, однако, дополняется принципом адаптивности непроеизводных (алфавитных) элементов.

Принцип комбинаторности обеспечивает возможность соединения непроеизводных элементов (образующих) для получения различных комбинаций, именуемых в теории паттернов *конфигурациями*. Для этого вводятся определенные правила, налагающие ограничения на способы формирования комбинаций образующих. Это также соответствует нормативному подходу, применяемому в системном анализе, объектном подходе и системологическом моделировании.

Принцип наблюдаемости позволяет изучать как из логических конструкций (конфигураций) возникают реально существующие и наблюдаемые объекты, именуемые в теории *изображениями* и *образами*. Для этого вводятся правила, позволяющие интерпретировать конфигурацию в терминах ее функционирования, так, как она воспринимается извне сторонним наблюдателем. В системном, объектном и системологическом подходах это соответствует контекстному или прецедентному рассмотрению анализируемой системы.

Таким образом, «можно сказать, что Гренандер создал основы теории логических шаблонов, моделирующих открытые объекты и состоящие из них открытые системы» [8, с. 36; 9]. При этом принципы, положенные в основу данной теории, хорошо согласуются с основными положениями УФО-подхода и системологического моделирования. Следовательно, формализацию концептуального аппарата теории и процедур метода системно-объектного (системологического) моделирования целесообразно осуществлять на основе идей и формализмов теории паттернов.

Рассмотрим некоторые результаты, полученные при исследовании процедуры анализа и моделирования организационных систем с помощью теории паттернов [10].

Как справедливо отмечено еще классиками системного анализа [3], эффективность анализа целиком и полностью зависит от правильности формулирования требований к системе или проблемы, что выражается в необходимости построения контекстной модели системы перед осуществлением ее декомпозиции. Паттерновое моделирование процесса УФО-анализа показало, что контекстное представление системы есть ее представление в виде образа и изображения. Важность формирования образа, адекватно представляющего требования к системе (или проблему), для обеспечения эффективного анализа и моделирования (в первую очередь, построения адекватного изображения) не вызывает сомнений. Это определяет необходимость проведения специального исследования образов организационных систем и их классифицирования.

Обобщение значительного числа эмпирических фактов, а также информации, содержащейся в нормативных документах (например, [11]), позволяет представить образ организационной системы в виде узла (в соответствии с подходом к системам как «Узлам–Функциям–Объектам» [1]), изображенного на рисунке.

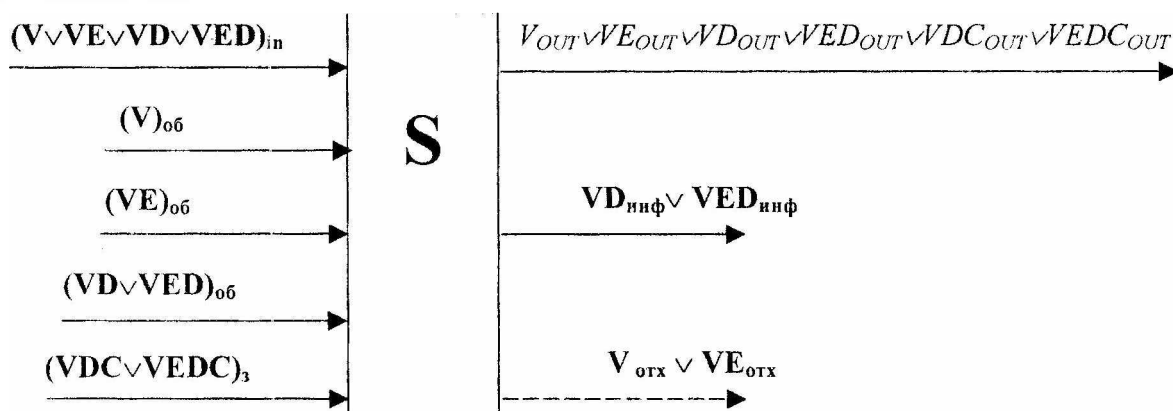


Рис. Образ организационной системы.

На данном рисунке (в терминах формально-семантического алфавита УФО-анализа [1, 12 – 14]) показано, что любая организационная система для того, чтобы производить продукцию (товар или услугу), должна получать на вход «предметы труда» (то, из чего будет делаться продукция) или в виде вещества ( $V_{in}$ ), или в виде энергии ( $VE_{in}$ ) на некотором носителе, или в виде данных ( $VD_{in}$  или  $VED_{in}$ ) опять же на некотором (вещественном или энергетическом) носителе. Кроме того, система для своего нормального функционирования должна получать материально-техническое обеспечение ( $V_{об}$ ), например, оборудование; энергетическое обеспечение ( $VE_{об}$ ), например, электроэнергию; информационное обеспечение ( $VD_{об}$  или  $VED_{об}$ ), например, описания технологических процессов; а также управляющие воздействия ( $VDC_{об}$  или  $VEDC_{об}$ ), которые, в первую очередь, являются запросами (потребностями) тех систем, для которых данная система вырабатывает свои товары или услуги, например, потребности клиентов, заказы и т.д. На выходе организационной системы, кроме продукции разного вида (в зависимости от отрасли деятельности:  $V_{out}$  – вещества,  $VE_{out}$  – энергии,  $VD_{out}$  или  $VED_{out}$  – данных,  $VDC_{out}$  или  $VEDC_{out}$  – управления), должна иметь место информация (данные) о ее

функционировании ( $VD_{инф}$  или  $VED_{инф}$ ), например, заявки на комплектующие или отчеты в налоговые органы, а также вещество или энергия, представляющие собой отходы производства ( $V_{отх}$ ,  $VE_{отх}$ ), например, макулатура.

Естественно, данное обобщенное представление образа организационной системы может и должно быть уточнено. Это уточнение позволяет сформировать определенные классы эквивалентности изображений систем, моделирующие организационные системы определенного вида и позволяющие строить контекстные модели в виде соответствующих изображений (как формализмов теории паттернов [5]). Уточнение, в первую очередь, касается поступающих на вход «предметов труда» и выходной продукции.

Например, если считать, что вход «in» и выход «out» организационной системы принадлежат к потокам разного вида, т.е. выход системы есть результат некоторого преобразования входа, то получается образ производственной системы. При этом, если на входе один вид вещества ( $V_{in}$ ), а на выходе другой вид вещества ( $V_{out}^*$ ), то имеет место вещественное производство (см. табл. 1). В таблице использованы сокращенные обозначения для энергии ( $VE = E$ ), данных на вещественных ( $VD = D$ ) и энергетических ( $VED = G$ ) носителях, а также для управляющей информации на вещественных ( $VDC = C$ ) и энергетических ( $VEDC = Q$ ) носителях. Это обусловлено тем, что, в настоящее время, широкое распространение имеют только бумажные ( $D$  и  $C$ ) и электронные ( $G$  и  $Q$ ) носители информации.

Если на входе организационной системы один вид энергии ( $E_{in}$ ) и/или какой-то вид вещества ( $V_{in}$ ), а на выходе другой вид энергии ( $E_{out}$ ), то имеет место энергетическое производство (табл. 1).

Таблица 1

Классификация образов (узлов) организационных систем

		Входы:					Выходы:		
		Производственный	ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ			Управляющий	Продуктовый	Информационный	Отходы
			Вещественный	Энергетический	Информационный				
Бизнес-система		$V, E, D(G), C(Q)$	$V$	$E$	$D(G)$	$C(Q)$	$V, E, D(G), C(Q)$	$D(G)$	$V, E$
Производство	Вещества	$V_{in}$	$V_{об}$	$E_{об}$	$D(G)_{об}$	$C(Q)_{об}$	$V_{out}$	$D(G)_{out}$	$V_{отх}, E_{отх}$
	Энергии	$V_{ин}, E_{ин}$	—	—	—	—	$E_{out}$	—	—
	Информации	$D(G)_{in}$	—	—	—	—	$D(G)_{out}, C(Q)_{out}$	—	$V_{отх}$
Транспорт	Вещества	$V$	—	—	—	—	$V$	—	—
	Энергии	$E$	—	—	—	—	$E$	—	$V_{отх}, E_{отх}$
	Информации	$D(G), C(Q)$	—	—	—	—	$D(G), C(Q)$	—	$V_{отх}$
Распределение	Вещества	$V$	—	—	—	—	$V$	—	—
	Информации	$D(G)$	—	—	—	—	$D(G)$	—	—

Если на входе организационной системы один вид данных (на бумаге:  $D_{in}$ ) и/или (в электронном виде:  $G_{in}$ ), а на выходе другой вид данных ( $D_{out}$ ) и/или ( $G_{out}$ ), либо управляющая информация (на бумаге:  $C_{out}$ ) и/или (в электронном виде:  $Q_{out}$ ), то имеет место информационное производство (табл. 1). При этом легко отличить управляющие, административные системы от систем аналитического типа, к которым могут быть отнесены проектирующие организации или подразделения, консалтинговые структуры и т.д. На выходе административных систем, естественно, может быть  $C_{out}$  и/или  $Q_{out}$ , а на выходе аналитических – только  $D_{out}$  и/или  $G_{out}$ .

Если, кроме того, рассмотреть случай, когда вход «in» и выход «out» организационной системы принадлежат к потокам одного вида (а, в идеале, эквивалентны), то получится образ, так называемой, логистической системы: транспортной, заготовительной, распределительной и т.д. При этом, если на

## ПРИМЕР ВЫСОКОУРОВНЕВОЙ БИБЛИОТЕКИ УФО-ЭЛЕМЕНТОВ (ФУНКЦИИ)

Выходы:		Вещество	Энергия	Данные на вещественных носителях	Управление с механическим приводом	Данные на электроносителях	Управление с электроприводом
Входы:		V	VE	VD	VDC	VED	VEDC
Вещество	V	Транспортировка, хранение, преобразование	Генерация, накопление	Измерение, обнаружение	Регулирование	Измерение, обнаружение	Регулирование
Энергия	VE	Расходование (окисление)	Передача, преобразование	Измерение, обнаружение	Регулирование	Измерение, обнаружение	Регулирование
Выходы:				Бумажные информационные документы	Бумажные нормативные документы	Электронные информационные документы	Электронные нормативные документы
Входы:		V	VE	D (VD)	C (VDC)	G (VED)	Q (VEDC)
Бумажные информационные документы	D (VD)	Утилизация документов		Пересылка, передача, хранение, размножение; создание новых	Создание новых; подписание, утверждение	Сканирование и набор; хранение в БД; создание новых с использованием ЭВМ	Нет
Бумажные нормативные документы	C (VDC)			Создание новых документов	Пересылка, передача, хранение, размножение; создание новых; подписание, утверждение	Создание новых с использованием ЭВМ	Сканирование, хранение в БД
Электронные информационные документы	G (VED)			Распечатывание; создание новых с использованием ЭВМ	Создание новых с использованием ЭВМ, подписание, утверждение	Пересылка по e-mail, хранение в БД или эл. библиотеке; создание новых с использованием ЭВМ	Нет
Электронные нормативные документы	Q (VEDC)			Создание новых документов с использованием ЭВМ	Создание новых с использованием ЭВМ, подписание, утверждение	Создание новых с использованием ЭВМ	Пересылка по e-mail, хранение в БД или эл. библиотеке

## ПРИМЕР ВЫСОКОУРОВНЕВОЙ БИБЛИОТЕКИ УФО-ЭЛЕМЕНТОВ (ОБЪЕКТЫ)

Выходы:		Вещество	Энергия	Данные на вещественных носителях	Управление с механическим приводом	Данные на электроносителях	Управление с электроприводом
		V	VE	VD	VDC	VED	VEDC
Входы:	Вещество	Продуктопроводы; хранилища; хим. генераторы	Химические источники питания (аккумуляторы); шлютины; кормление животных.	Механические датчики и счетчики (уровня, расхода)	Механические регуляторы (уровня; запорные устройства)	Электронные датчики и счетчики (наличия, уровня, расхода) с встроенным питанием	Электронные регуляторы (уровня, расхода) с встроенным питанием
	Энергия	Камеры сгорания (печи и камины)	Зубчатые и рычажные передачи; гидроприводы; электрогенераторы; вторичные источники питания; электросети; теплотрассы	Механические счетчики (электричества); стрелочные амперметры, вольтметры, барометры, часы; простые термометры;	Механические регуляторы (температуры; биметаллический регулятор)	Электронные счетчики (электричества); осциллографы; эл. часы, термометры	Электронные регуляторы (уровня, расхода); автореле регуляторы; взрыватели (детонаторы)
Выходы:				Бумажные информационные документы	Бумажные нормативные документы	Электронные информационные документы	Электронные нормативные документы
		V	VE	D (VD)	C (VDC)	G (VED)	Q (VEDC)
Входы:	Бумажные информационные документы	Мусоросборник		Канцелярия; секретариат; бухгалтерия; библиотека; архив отделы: НИИ, плановый, экономический, технологический, производственный; разработчики	Администрация	Бухгалтерия; секретариат; отделы: НИИ, плановый, экономический, маркетинга, производственный; разработчики	Нет
	Бумажные нормативные документы			Бухгалтерия; отделы: НИИ, плановый, экономический, технологический, маркетинга, производственный; разработчики	Администрация; канцелярия; секретариат; отдел стандартизации; библиотека; архив	Бухгалтерия; отделы: НИИ, плановый, экономический, технологический, маркетинга, производственный; разработчики	Администрация; секретариат; эл. библиотека
	Электронные информационные документы			Бухгалтерия; отделы: НИИ, плановый, экономический, маркетинга, производственный; разработчики	Администрация	Бухгалтерия; отделы: НИИ, плановый, экономический, технологический, маркетинга, производственный; разработчики	Нет

входе некоторый вид вещества ( $V_{in}$ ) и на выходе этот же вид вещества ( $V_{out}$ ), т.е. в идеале выполняется равенство  $V_{in} = V_{out}$ , то имеет место транспортировка вещества (см. табл. 1).

Если на входе некоторый вид энергии ( $E_{in}$ ) и на выходе этот же вид энергии ( $E_{out}$ ), т.е. в идеале выполняется равенство  $E_{in} = E_{out}$ , то имеет место транспортировка энергии (см. табл. 1).

Ситуация, когда на входе и на выходе один и тот же вид вещества, т.е. в идеале выполняется равенство  $V_{in} = V_{out}$ , характерна и для заготовительно-распределительной системы (см. табл. 1). Однако, образ этой системы отличается от образа транспортной тем, что на ее входе и на ее выходе могут быть и данные, что соответствует идеальному равенству  $D_{out} = (D)_{in}$  либо равенству  $G_{out} = (G)_{in}$ . Равенство вещества соответствует моделированию, например, складского хозяйства, магазина и т.д., а равенство данных, например – библиотеки, архива и т.д.

В заключении классифицирования видов образов организационных систем необходимо отметить, что выбор того либо иного образа для моделирования системы будет определяющим с точки зрения результатов анализа или проектирования. Так для анализа деятельности, например, кафедры высшего учебного заведения теоретически можно использовать как образ информационно-производственной системы, так и заготовительно-распределительной. Совершенно ясно, что результаты моделирования будут принципиально отличаться. Следовательно, выбор образа (и далее изображения) должен быть обусловлен, в первую очередь, требованиями тех систем, которые реально связаны или будут связаны с выходами рассматриваемой системы.

Классифицирование образов организационных систем на основе их узловых характеристик позволяет предложить высокоуровневую библиотеку UFO-элементов, функциональные характеристики которых представлены в табл. 2, а объектные – в табл. 3.

Применение данных результатов для построения паттерновой модели производственной системы одного из предприятий г. Харькова показало, что все подразделения такой системы могут быть представлены как изображения перечисленных образов, а сама производственная система – как конфигурация этих изображений. При этом такое формально-семантическое представление модели производства позволяет выработать весьма конструктивные рекомендации по совершенствованию организационной структуры. Например, цех, опытное и инструментальное производство, естественно, представляются как системы вещественного производства. Отдел главного конструктора, бюро технической подготовки производства, планово-экономический отдел, бухгалтерия, отдел труда и заработной платы, отдел маркетинга и т.п. представляются как системы информационного производства. Отдел технического контроля, отдел главного механика, отдел главного технолога, отдел снабжения, отдел сбыта, отдел технической документации и т.п. представляются как распределительные системы.

Представленная формально-семантическая библиотека UFO-элементов и категории организационных систем могут рассматриваться, в частности, как развитие и дополнение, например, популярной технологии SADT. Как известно, данная технология предоставляет формальные универсальные возможности по построению функциональных структур бизнес-процессов. Однако она не учитывает семантику предметной области и не предоставляет в распоряжение аналитика информации о конкретных взаимодействиях анализируемых систем и их возможном наполнении. Таким образом, контекстное моделирование и декомпозиция систем средствами SADT являются эвристическими процедурами и соответствующими CASE-средствами (например, BPwin) на содержательном уровне не поддерживаются.

Представленная классификация образов организационных систем, полученная в результате объединения системного подхода «Узел–Функция–Объект» [1, 12 – 14] и паттернового подхода к формализации моделей [10], позволяет значительно упростить решение первой (и самой важной) задачи моделирования и анализа, а именно, задачи построения контекстной модели. Это обусловлено тем, что, до настоящего времени, выбор контекстного представления системы являлся исключительно эвристической процедурой. Однако, именно контекстная модель является исходной точкой всего анализа, задающей его направление и, по сути дела, определяющей в значительной степени результат.

**Список литературы:** 1. Маторин С.И. Развитие системологической теории и ее применение в UFO-технологии // Проблемы бионики. 2001. №55. С.33-42. 2. Ступняк В.Н. Теория и практика принятия оптимальных решений. СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2002. 394с. 3. Оттнер Станфорд Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / Пер. с англ. М.: Советское радио, 1969. 216с. 4. Лямец В.И., Тевяшев А.Д. Системный анализ. Харьков: ХТУРЭ, 1998. 252с. 5. Гренандер У. Лекции по теории образов.

3 Регулярные структуры / Пер с англ. М.: Мир, 1983. 432с. 6. Шуткин Л.В. О применении теории паттернов в компьютерных системах // <http://www.osp.ru/os/1995/06/31.htm>. 7. Шуткин Л.В. Паттерновые сети для моделирования информационных систем // <http://www.pvti.ru/stat/shutkin.pdf>. 8. Шуткин Л.В. Новое мышление компьютерного мира // НТИ Сер. 2. 1998. №1. С. 35-40, 18. 9. Шуткин Л.В. Новое мышление компьютерного мира: применение сетей данных // НТИ Сер. 2. 1998. №6. С. 23-27. 10. Ельчанинов Д.Б., Маторин С.И. О формализации системологических понятий средствами теории паттернов // Искусственный интеллект. 2002. №2. С. 116-124. 11. Государственное предприятие: структура, положения об отделах и службах, должностные инструкции: Справ. пособие / К.А. Волкова, Ф.К. Казакова, А.С. Симонов. 2-е изд., доп. М.: Экономика, 1990. 448 с. 12. 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. 13. Маторин С.И. УФО-анализ // АСУ и приборы автоматики. 2001. №4. С. 3-12. 14. Маторин С.И. УФО-анализ и моделирование системы управления запасами // Радиоэлектроника и информатика. 2001. №4. С.72-76.

Поступила в редакцию 3 10.2002

УДК 681.322

А. С. ШКИЛЬ, А. Б. СЕВАСТЬЯНОВ, К. А. ВАСИЛЬЕВ

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНИКОВ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

Расширение сфер применения технологий дистанционного образования в последние годы привело к резкому увеличению спроса на электронные учебные издания. В процесс их изготовления вовлекается все более широкий круг преподавателей высшей школы, не имеющих достаточного опыта работы в данной области. В связи с этим актуальной становится задача унифицировать как методическую структуру электронных учебников (ЭУ), так и дизайнерские приемы отображения учебной информации. С точки зрения унификации и межплатформенной переносимости наиболее удачным решением является построение гипертекстовых электронных учебников, которые обладают целым рядом преимуществ [1].

Учебные издания по различным дисциплинам, в том числе и электронные учебники, существенно различаются как по типам используемых учебных материалов, так и по стилям их изложения [2]. Например, электронный учебник по гуманитарным дисциплинам существенно отличается от аналогичного издания по дисциплинам программистского цикла. В данной статье рассматриваются вопросы построения гипертекстовых учебников по техническим дисциплинам высшей школы, в частности направления "Компьютерная инженерия". Электронные учебники по техническим дисциплинам содержат такие типы информационных ресурсов: текстовые материалы, таблицы, рисунки, диаграммы, анимация (пошаговая и циклическая), элементы интерактивности при выборе последовательности обучения или ответов на вопросы для самоконтроля. Кроме того, подобный учебник содержит ряд стилистических компонентов, таких как заголовки, основной и дополнительный тексты, навигационные панели, элементы управления, анимационные компоненты со специфическими элементами управления и т.д.

Не вдаваясь в излишние подробности, информационную структуру учебно-методических материалов по дисциплине можно представить следующим образом.

1. Титульная страница (она же оглавление, она же главное меню).
2. Начальные положения.
  - Цели и задачи курса.
  - О дисциплине (порядок изучения материала, обеспечивающие и обеспечиваемые дисциплины).
  - Техническая реализация (необходимое техническое и программное обеспечение, описание файловой системы).
  - О навигации (структурирование материала, принципы навигации, пиктограммы).
3. Основной теоретический материал, структурированный по темам (разделам), подтемам.
  - Краткая аннотация на каждую тему с перечнем основных рассматриваемых вопросов.
  - Теоретический материал, структурированный по темам и подтемам с возможностью прямого доступа к каждой структурной единице.
  - Вопросы для самоконтроля с элементами оценивания в конце каждой темы.
4. Конечные положения.
  - Список литературы (перечень ссылок).
  - Словарь терминов.
  - Об авторах (с контактными телефонами и электронными адресами).
  - Контакты. (Адрес контактного почтового ящика для студентов с типовыми формами запросов).

### Структурирование учебной информации

При структурировании учебной информации и создании системы навигации в данном ЭУ необходимо минимизировать время доступа к любому фрагменту учебного материала и при этом максимально упростить обучаемому принятие решений в любой ситуации. При работе с любым электронным учебным материалом возникают задачи многократного перемещения по фрагментам учебного материала, возврат к уже ранее просмотренным участкам. При создании такой системы навига-

ции целесообразно реализовать перемещения по тексту и между окнами без использования панели управления браузера.

При создании иерархической структуризации учебного материала соблюдалось правило "трех кликов", т.е. доступ к любой информации может быть получен не более чем за три "навигационных действия". Исходя из этого, предложена трехуровневая тематическая структуризация:

- 1-й уровень Главная страница (рабочая программа)
- 2-й уровень Тематическая страница (подраздел)
- 3-й уровень Дополнительные окна (рисунки, анимация)

Схематически это предложенная трехуровневая структуризация показана на рис. 1.

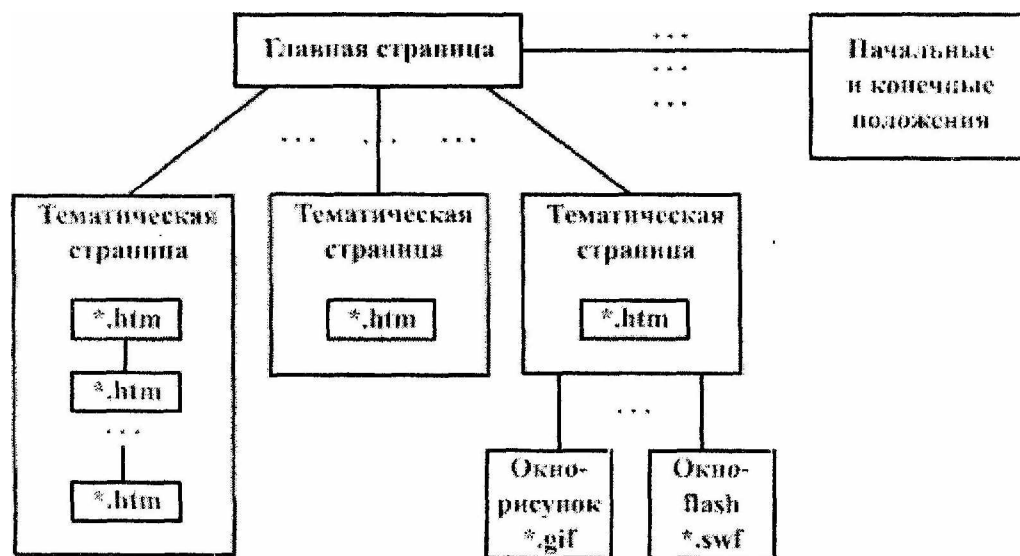


Рис.1.

**Первый уровень** - главная страница (index.htm). По внешнему виду эта страница напоминает тематическую разбивку теоретического материала учебного курса в общепринятой форме рабочей программы. На этом уровне существует деление на темы и подтемы. Каждая тема имеет порядковый номер, сопровождается краткой аннотацией, которая доступна при нажатии на соответствующую пиктограмму на главной странице и открывается в новом окне. Здесь и далее следует отметить, что все открытые окна отображаются на панели задач (системы Windows). Поэтому обучаемому рекомендуется не скрывать панель задач.

**Второй уровень** иерархии - *подтема*. Каждая подтема имеет нумерацию внутри темы и условно соответствует одному теоретическому занятию. Ее название является гиперссылкой, при нажатии на которую осуществляется переход в новое окно, где излагается учебный материал данного подраздела. В тексте названия "подраздел", "страница", "подтема", употребляются как синонимы. С точки зрения гипертекстового структурирования каждой подтеме соответствует одна или несколько HTML-страниц, соединенных в плоский (однонаправленный) фрагмент сайта. Этот фрагмент характеризуется тем, что в него можно войти только с главной страницы, а далее последовательность переходов строго детерминирована.

Физический размер каждой страницы 2-го уровня не должен превышать 4-5 экранов гипертекста. Если размер страницы превышает примерно 200 строк гипертекста, она разбивается на последовательно вызываемые фрагменты, для которых правило 4-х экранов соблюдается. Это, во-первых, ускоряет загрузку каждой страницы, во-вторых, упрощает навигацию внутри страницы. Вверху и внизу страницы имеется стандартная навигационная панель. Внутри одной темы существует переход от одной страницы (подтемы) к другой и возврат к предыдущей через гиперссылки в конце тематической страницы. Переход от одной темы к другой возможен только через главную страницу. Произвольных переходов между страницами второго уровня иерархии нет.

На некоторых страницах есть ссылки на дополнительный материал **третьего уровня** иерархии. Этот материал открывается в новом окне и после просмотра окно закрывается (происходит возврат в вызывающую страницу). Материалом третьего уровня обычно бывают Flash-анимации (для выделе-

ния которой на страничке используется значок/пиктограмма (расположенная в непосредственной близости от объекта), дополнительные рисунки, разъясняющий и уточняющий материал. В процессе работы на втором или третьем уровне могут встречаться простые элементы управления (стрелки «вперед >» и «назад <>»).

### Файловая структура гипертекстового ЭУ

Учебные материалы являются часто обновляемым и редактируемым информационным ресурсом. Гипертекстовый учебник описанной структуры может содержать несколько сотен, а иногда и тысяч файлов.

Типы файлов:

тематические (информационные и тестовые) страницы – \*.html-файлы;

рисунки – \*.gif-файлы;

анимация в формате Macromedia Flash – \*.swf-файлы.

Для облегчения доступа к файлам принята следующая файловая структура. В корневом каталоге располагается главная страница, файлы с начальными и конечными положениями, а также аннотации к каждой теме. Все файлы учебного материала, относящиеся к одной теме, располагаются в одном подкаталоге. Внутри этого подкаталога располагаются подкаталоги второго уровня с информационными (тестовыми) страницами, рисунками, анимационными файлами.

В качестве примеров в дальнейшем изложении будут использоваться различные страницы гипертекстового учебника "Диагностика и моделирование" [3]. На рис. 2 приведен пример главной страницы этого ЭУ. На ней имеются гиперссылки на начальные и конечные положения ЭУ, а также гиперссылки на учебный материал, структурированный по темам и подтемам. Слева от каждой темы имеется ряд служебных пиктограмм, упрощающих открытие окон браузера и доступ к вопросам для самоконтроля. По умолчанию каждая подтема открывается в новом окне браузера, но по желанию обучаемого может быть открыта и в текущем окне.

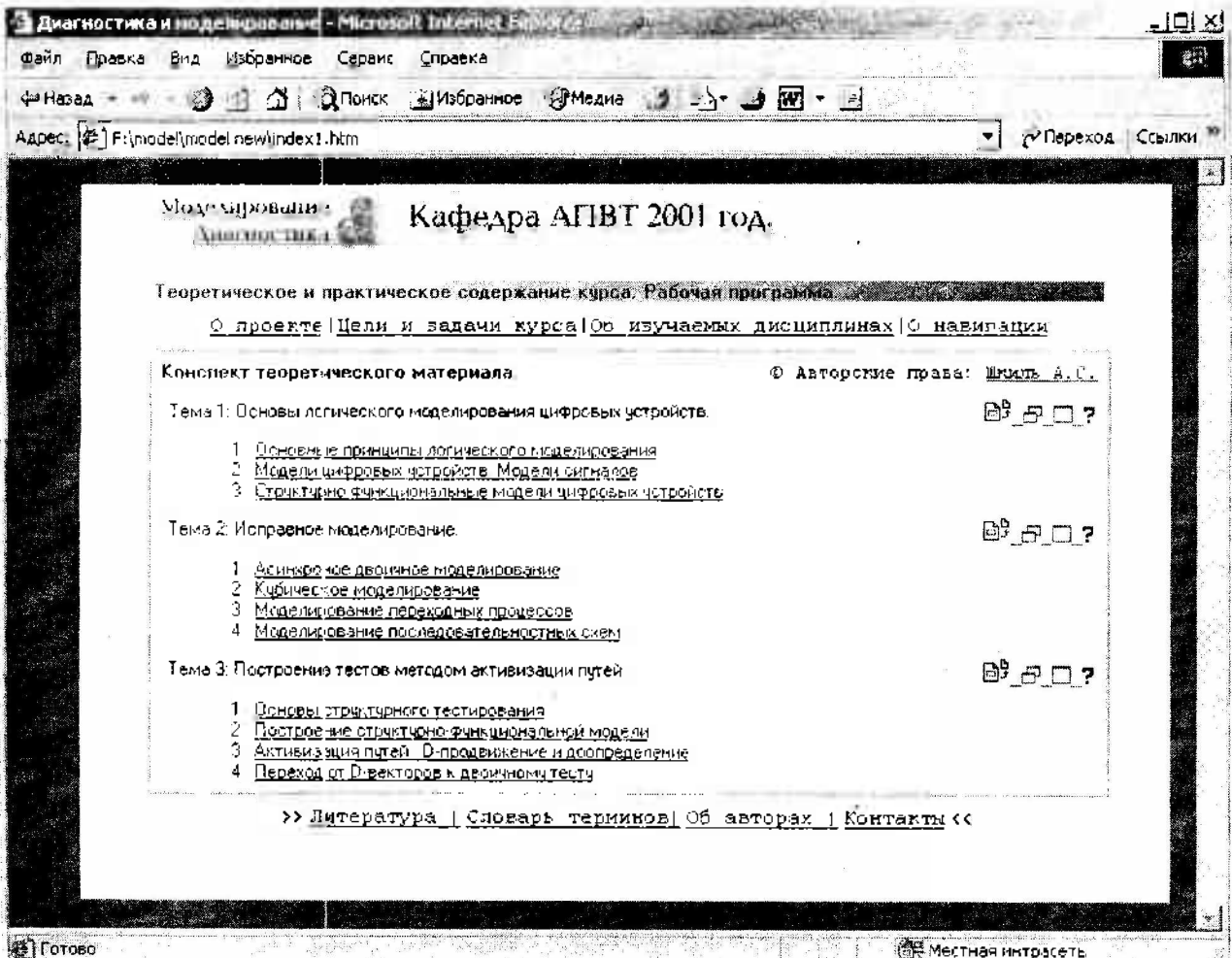


Рис.2.

### Структура и информационной страницы

Каждая информационная страница состоит из двух основных частей: собственно информационной и навигационной. Навигационная часть состоит из верхней и нижней навигационных панелей, а также "всплывающих" навигационных кнопок. При построении навигационных элементов используется принцип дублирования переходов, что позволяет обеспечить доступ к любому участку информации, как минимум, двумя путями. В верхней навигационной панели имеется отображение полного пути от главной страницы до текущей страницы, а также время последней модификации данной страницы. Фиксация времени последней модификации позволяет отследить время создания текущей версии учебника и фиксировать попытки обучаемого менять текст ЭУ. Внутри одной темы существует переход от одной страницы (подтемы) к другой и возврат к предыдущей через гиперссылки, расположенные внизу информационной страницы. Нижняя информационная панель обеспечивает доступ к наиболее часто используемой служебной информации

В левом нижнем углу каждой информационной страницы присутствуют "всплывающие" навигационные кнопки, которые обеспечивают переход в начало страницы и на главную страницу. На рис. 3 приведен пример одной из тематических страниц рассматриваемого ЭУ.

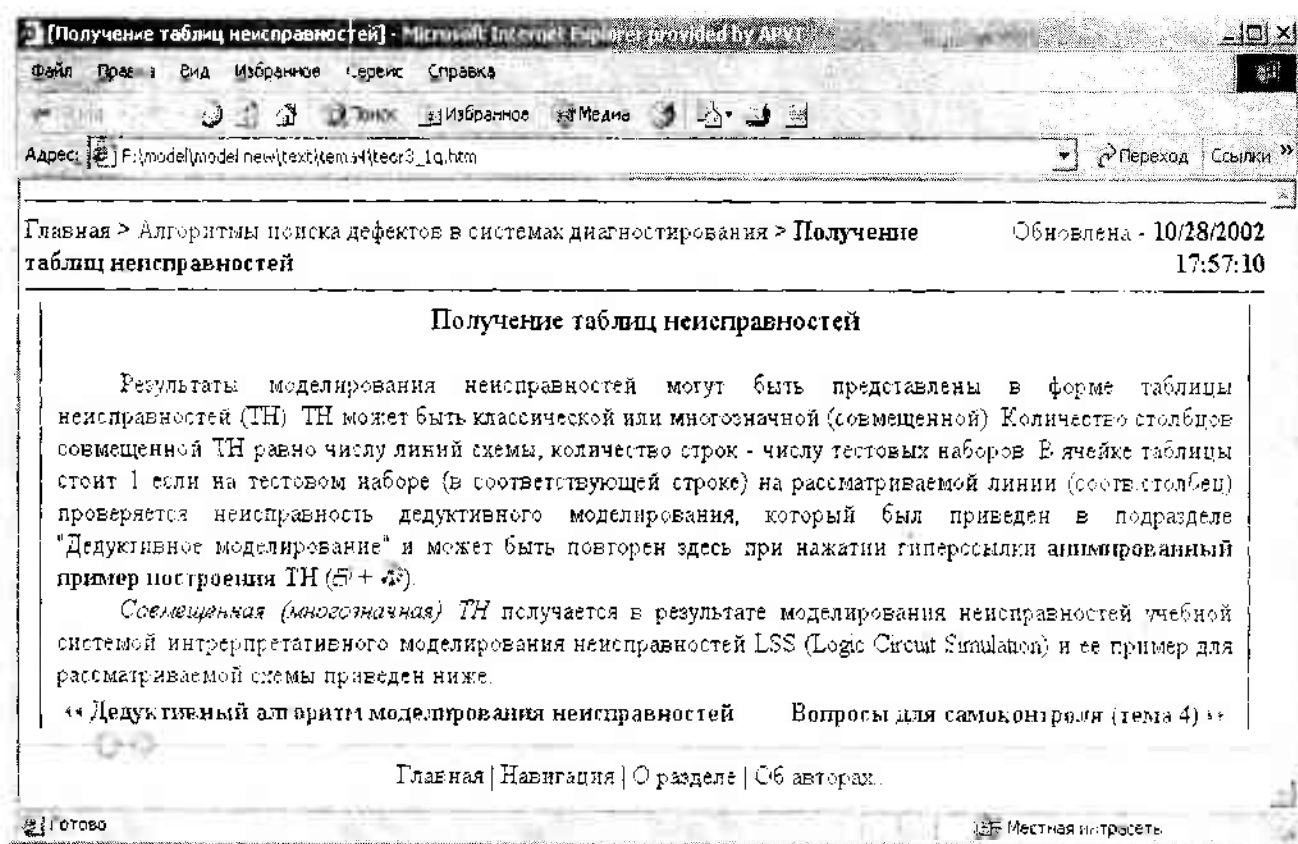


Рис.3.

### Структура и особенности тестовой страницы

Для помощи обучаемым в изучении материала в конце каждой темы присутствуют вопросы для самоконтроля. Реализованы вопросы типа "выбор одного из нескольких", которые оформлены в виде отдельной тестовой страницы. Проведение тестирования, обработка и выдача результатов осуществляются на стороне клиента (на локальной машине), что существенно повышает мобильность ЭУ и расширяет сферу его применения.

Визуальная структура тестовой страницы совпадает с информационной. У них одинаковые принципы построения навигационного интерфейса, одинаково оформление информационного поля страницы.

В верхнем левом углу тестовой страницы располагается окно выбора режима ответов на вопросы. При выборе режима "Автоконтроль" (активизации окна) результат ответа на каждый вопрос

выдается сразу после нажатия на кнопку "ОК" Если данный режим не включен, то результаты тестирования можно узнать только после нажатия на одну из кнопок внизу тестовой страницы.

Ответы на вопросы осуществляются путем выбора соответствующей альтернативы в выборочном вопросе и нажатии кнопки "=== ОК ===". Данная кнопка активном состоянии до тех пор пока не выбран один из вариантов ответа, и становится неактивной сразу же после ответа на вопрос, что не позволяет многократно отвечать на один и тот же вопрос.

В нижней части тестовой страницы расположен ряд элементов управления (кнопок) режимом выдачи результатов тестирования.

- Yes/no – показывает включение режима "Автоконтроль" ;
- ОК – выводит на экран количество правильных ответов;
- НЕ ОК – количество неправильных ответов;
- ИТОГО – показывает общее количество правильных и неправильных ответов;
- рез-т – дает обзор статистики ответов (правильно или нет был дан ответ на вопрос);

На рис.4 приведен пример фрагмента тестовой страницы для первого раздела рассматриваемого ЭУ.

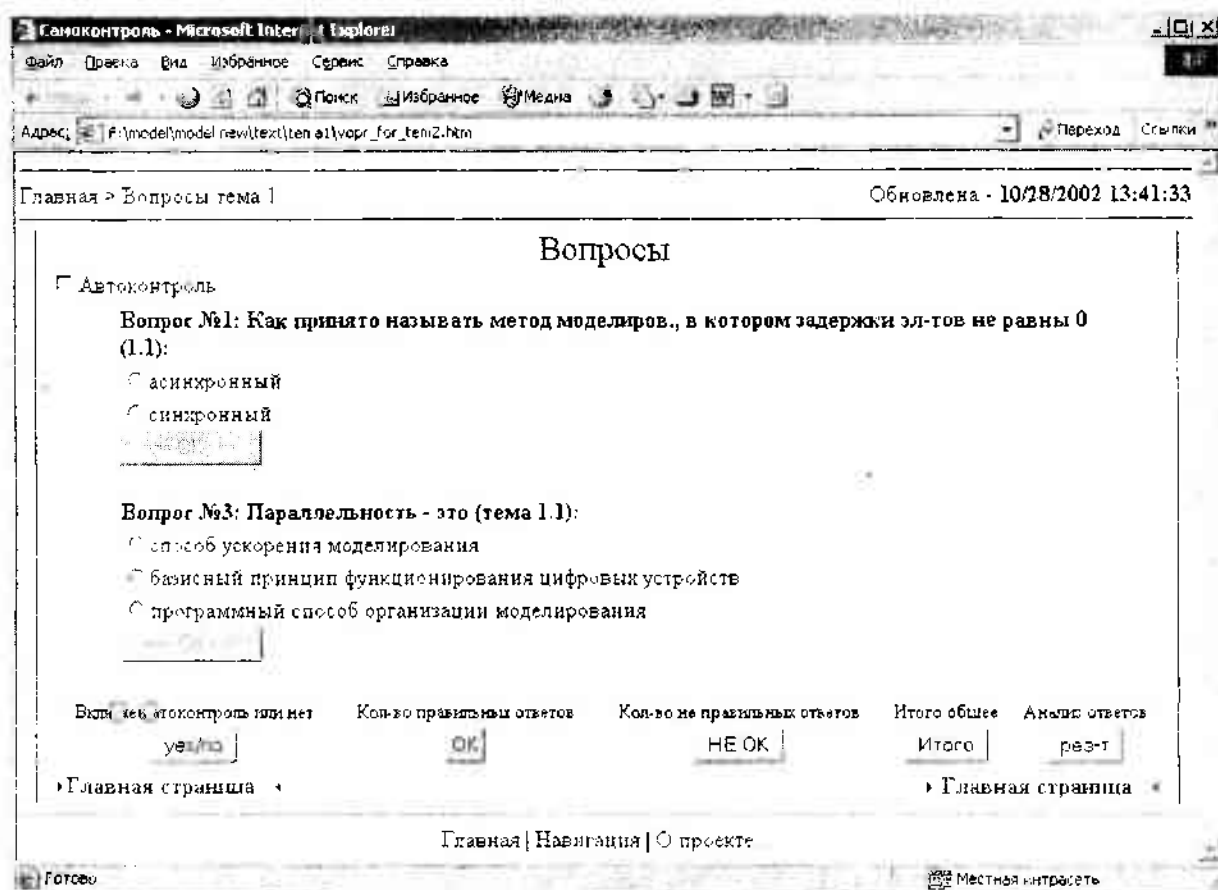


Рис. 4

Программная структура тестовой страницы достаточно проста. Тексты вопросов и варианты правильных ответов располагаются в двух массивах, что, во-первых, значительно упрощает подготовку тестовых страниц, а, во-вторых, явное отсутствие в исходном коде станицы HTML-форм значительно усложняет недобросовестным обучаемым поиск правильных ответов в исходном коде тестовой страницы. Обработчик ответов написан на языке JavaScript и вынесен в отдельный файл. Более подробное описание структуры тестовой страницы нецелесообразно с точки зрения сокрытия информации о правильных ответах.

Как уже упоминалось выше, рассмотренные принципы построения гипертекстового ЭУ в полном объеме реализованы в ЭУ "Диагностика и моделирование", который прошел апробацию учебном процессе факультета "Компьютерная инженерия и управление" Харьковского национального

университета радиоэлектроники. В учебном процессе данная форма ЭУ использовалась в качестве конспекта учебного материала для дисциплин, связанных с отдельными разделами «Диагностика ЦУ», «Логическое моделирование» и «САПР ЦУ», а также в качестве фрагментов методических указаний к лабораторным работам практическим занятиям, а также в качестве методических указаний к самостоятельной работе студентов (заочная форма обучения).

Объем информации рассматриваемого в качестве примера ЭУ "Диагностика и моделирование" составляет около 3 Мбайт. В упакованном виде он помещается на одну дискету объемом 1,44 М.

С использованием данного способа структурирования учебного материала и программной реализации гипертекстового шаблона на факультете КИУ ХНУРЭ разрабатывается ещё несколько гипертекстовых электронных учебников, в частности «Дискретная математика», «Прикладная теория цифровых автоматов», "Компьютерная электроника и схемотехника" и ряд других.

**Список литературы:** 1. *Шеховцов Б.Г., Шкиль А.С., Пиженко И.Н., Шмаин Д.Ю.* Концепция программно-информационной поддержки гипертекстового учебного материала для дистанционного обучения // АСУ и приборы автоматики, 2001. Вып.114. С. 77-81. 2. *Бондарев В.М.* Создание электронных лекций // Сб. трудов 6-й международной конференции УАДО Образование и виртуальность-2002. Харьков-Ялта: УАДО, 2002. С.154-158. 3. *Шкиль А.С., Севастьянов А.В., Мазур М.С.* Структура электронного учебника "Диагностика и моделирование" // Сб. трудов 6-й международной конференции УАДО Образование и виртуальность-2002. Харьков-Ялта: УАДО, 2002. С.194-196.

*Поступила в редколлегию 11.09.2002*

УДК 681.322

Н. В. БЕЛОУС, И. Ю. ШУБИН, А. П. ВЫРОДОВ

**ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ**

На современном этапе развития компьютерных технологий при проектировании компьютерных обучающих систем используют специальные инструментальные средства, которые освобождают разработчика от необходимости выполнения рутинных операций. Данные инструментальные средства различаются предоставляемыми сервисными возможностями по созданию и редактированию учебного материала. Однако использование подобных инструментальных сред не гарантирует получения методически замкнутых, дидактически эффективных компьютерных обучающих систем. Разработанные в одной инструментальной среде, но на основе применения различных психологических теорий обучения, компьютерные обучающие системы будут существенно отличаться по своей дидактической эффективности. Как правило, разработчики обучающих систем даже не задумываются о выборе адекватной теории обучения и неявно используют стиль обучения, заложенный проектировщиком в инструментальную среду. Это привело к возникновению ситуации, когда 91% компьютерных обучающих программ основаны на наиболее простой с точки зрения программной реализации бихевиористической теории обучения. Очевидно, что улучшить дидактические характеристики обучающих систем можно посредством использования комбинации нескольких теорий обучения вместо одной. Поэтому возникает задача поиска оптимальной комбинации различных теорий обучения для создания на их основе компьютерных обучающих систем.

В данной работе изложены результаты анализа наиболее известных в педагогической психологии теорий обучения с целью их применения для разработки сценариев компьютерных обучающих систем.

**Бихевиористическая теория обучения**

В бихевиоризме основное внимание уделено поведению обучаемого, которое трактуется как сумма реакций на учебные ситуации. Один из основоположников бихевиоризма Э.Л. Торндайк считал, что обучение человека должно строиться на базе только механических, а не сознательных принципов, и описывал процесс обучения человека и животных с помощью простых закономерностей. На дальнейшее развитие данной теории обучения наибольшее влияние оказали следующие два закона.

— *Закон тренировки*: чем чаще повторяется определенная реакция на ситуацию, тем прочнее связь между ними, а прекращение повторения приводит к ослаблению этой связи.

— *Закон эффекта*: если связь между ситуацией и реакцией сопровождается состоянием удовлетворенности индивида, то прочность связи возрастает и наоборот.

Перечисленные законы были положены последователем Торндайка, Б.Ф. Скиннером, в основу теории обучения, получившей название линейное программирование [1]. Модель обучения, предложенную Скиннером, можно представить в виде следующей универсальной формулы:

$$C \rightarrow R \rightarrow P, \quad (1)$$

где С – ситуация; Р – реакция; П – подкрепление.

Скиннер предложил разбить учебный материал на небольшие информационные фрагменты, каждый из которых охватывает только одну учебную ситуацию. Причем, данные ситуации должны быть максимально простыми, чему способствует небольшой объем информационного фрагмента, чтобы реакции на них были правильными. Скиннер считал, что правильное выполнение учебного задания является положительным подкреплением и приводит обучаемого в состояние удовлетворенности. По методике линейного программирования были подготовлены учебные пособия, которые прошли апробацию в профессионально-технических училищах США. Объем информационного фрагмента указанных пособий составлял 2-3 текстовые строки, а в качестве учебных ситуаций выступали пропуски слов. Причем, сами пропущенные слова размещали на полях страницы. В процессе работы с таким пособием, обучаемый изучал учебный материал, по мере необходимости вставляя пропущенные слова при закрытых полях, и незамедлительно проверял себя, открывая поля и читая правильные решения. Следует также отметить, что учебный материал пособий был подготовлен таким образом, что при его изучении осуществлялось многократное повторение ключевых элементов.

Использование данной теории обучения позволяет существенно сократить время обучения и повысить квалификацию обучаемых. Однако линейное программирование не лишено и недостатков. К последним следует отнести:

- постепенную утрату обучаемым интереса из-за механистичности программированных учебных пособий;
- значительное количество небольших информационных фрагментов затрудняет восприятие учебного материала в целом;
- как показала практика, правильное выполнение несложных учебных заданий является положительным подкреплением только на начальном этапе изучения материала, в дальнейшем правильная реакция на простые ситуации уже не приносит чувства удовлетворенности;
- отсутствие адаптации к познавательным способностям конкретного индивида.

Большинство перечисленных недостатков были устранены Н.А. Краудером в его методике разветвленного программированного обучения [2]. Объем информационного фрагмента программированного пособия Краудера составлял половину страницы. В качестве учебной ситуации Краудер предложил использовать тестовое задание, состоящее из вопроса и трех вариантов ответов: правильный, неточный и неправильный. В случае правильного ответа обучаемому давалось положительное подкрепление и осуществлялся переход к следующему по сценарию информационному фрагменту. В случае неточного ответа обучаемому выдавалась корректирующая информация, а в случае неправильного — помощь. Таким образом, схема Краудера предусматривала три возможных пути продолжения хода учебного процесса: для сильных, средних и слабых обучаемых.

Бихевиористическая теория обучения подверглась острой критике за принципиальное игнорирование мыслительных процессов обучаемого. Но благодаря простоте реализации, она получила широкое распространение и была воплощена в ряде технических обучающих устройств. На сегодняшний день, универсальная формула данной теории в ее разветвленной форме является основополагающим элементом большинства обучающих систем.

### **Ассоциативно-рефлекторная теория обучения**

В данной теории под ассоциацией понимают связь между психическими явлениями, которая приводит к появлению одного явления при актуализации другого. Обучение интерпретируется как процесс связывания различных элементов знания. При этом выделяют два вида связей: внешние и внутренние. С помощью внешних связей осуществляется только механическое запоминание. Наглядным примером может служить правило для запоминания цветового спектра: "Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан". С помощью внутренних (логических) связей можно выводить новые знания из имеющихся. Ассоциативно-рефлекторная теория обучения требует для своего применения соблюдения следующих условий: обучаемый должен иметь начальные знания и уметь выполнять логические операции для связывания начальных знаний с новыми. Теория ассоциативно-рефлекторного обучения включает следующие этапы:

- актуализация имеющихся знаний;
- связывание имеющихся знаний с новыми;
- регистрация и осмысление новых знаний;
- закрепление новых знаний;
- обобщение имеющихся и новых знаний в единую систему;
- закрепление обобщенного знания.

### **Теория поэтапного формирования умственных действий**

Основателями данной теории обучения являются П.Я. Гальперин и Н.Ф. Талызина [3]. Теория поэтапного формирования умственных действий сводит процесс обучения к последовательности таких этапов:

- мотивация обучаемого перед началом работы с учебным материалом;
- создание ориентировочной основы учебной деятельности (предоставление обучаемому общей структуры учебного материала);

- организация материальной (материализованной) формы деятельности (обеспечение работы обучаемого или непосредственно с изучаемыми материальными объектами, или с их материальными моделями);
- осуществление абстрагированной от материальных объектов внешнеречевой деятельности (проговаривание вслух, письменное изложение материала);
- проведение абстрагированной деятельности в форме внутренней речи (проговаривание про себя);
- выполнение учебной деятельности в абстрагированной свернутой, исключительно умственной форме.

### **Теория алгоритмизации**

Данная теория обучения имеет фиксированную область применения — изучение алгоритмов решения задач [4]. Согласно этой теории, учебный процесс целесообразно планировать в виде следующих этапов:

- выдача обучаемому сведений об области применения описываемых алгоритмов;
- ознакомление обучаемого с алгоритмом решения всей задачи в целом;
- организация учебной деятельности по алгоритму с внешней опорой (алгоритм постоянно находится перед глазами обучаемого);
- осуществление учебной деятельности по алгоритму с эпизодической внешней опорой (сохранение за обучаемым возможности заглянуть в алгоритм);
- проведение учебной деятельности по алгоритму без внешней опоры.

### **Гештальттеория обучения**

Основоположниками гештальттеории обучения являются М. Вертхеймер, Г. Мюллер, В. Келер, К. Коффка. Ядром теории является учение о гештальте. Гештальт представляет собой целостную организацию объекта восприятия. Поэтому гештальттеория основывается на одномоментном запечатлении в ходе учебной деятельности. В гештальттеории манипуляции производят с довольно большими информационными фрагментами, имеющими самостоятельное смысловое значение. Указанные манипуляции сводятся к запечатлению структуры фрагмента, а также его смысла.

### **Суггестопедическая теория обучения**

В основе суггестопедической теории обучения лежит организация учебного процесса на основе эмоционального внушения в бодрствующем состоянии, которое приводит к сверхзапоминанию. Данная теория основывается на комплексном использовании всех вербальных и невербальных, внешних и внутренних средств внушения. Ее реализация предполагает создание особых психолого-педагогических условий обучения.

Преподаватель должен:

- иметь высокий авторитет;
- создавать естественную обстановку доверия, когда обучаемый полностью уверяет себя преподавателю;
- внушать обучаемому мысли об огромных возможностях интеллекта;
- демонстрировать продвижения обучаемого в изучении учебного материала;
- выделять интонацией, а иногда даже жестами и мимикой соответствующие информационные фрагменты, которые имеют самостоятельное смысловое значение.

Обучаемый должен:

- верить в реальность достижения целей обучения;
- иметь постоянное положительное эмоциональное подкрепление за счет эстетических и комфортных условий;
- обладать возможностью концентрированного изучения материала (только одна учебная дисциплина по 4-6 часов в день на протяжении 2-3 месяцев).

### **Теория содержательного обобщения В.В. Давыдова — Д.Б. Эльконина**

Теория содержательного обобщения подчеркивает влияние на формирование интеллекта системы теоретического знания. Согласно данной теории, учебный процесс представляет собой освоение обучаемым содержательных обобщений — генетически исходных, теоретически существенных свойств и отношений объектов, а также условий их возникновения и преобразования. Под «субъектом познания» понимается способность обучаемого овладеть научными понятиями, организованными по теоретическому принципу, а под «учебным процессом» — деятельность по воспроизводству содержания, пути и метода теоретического познания. Процесс формирования нового понятия состоит из следующих этапов:

- постановка задачи;
- преобразование условий задачи с целью выявления наиболее существенных отношений, на основе которых возможно решение поставленной задачи;
- составление с помощью выявленных отношений предметной (знаковой) модели;
- анализ составленной модели для выявления таких свойств отношений, с помощью которых можно вывести методы решения исходной задачи.

Основатели теории В.В. Давыдов и Д.Б.Эльконин критиковали методику использования наглядного материала за отсутствие содействия в формировании теоретических обобщений и подчеркивали важную роль предметной (знаковой) модели в процессе выявления существенных признаков изучаемого явления.

### **Конструктивизм**

Конструктивизм как теория обучения, основан на предположение, что, отталкиваясь от имеющегося опыта, обучаемый строит свое собственное понимание окружающего мира. Каждый индивидуум генерирует свои собственные правила и ментальные модели на основе накопленного жизненного опыта [5]. С позиции конструктивизма учебный процесс представляет собой адаптацию ментальных моделей обучаемого к приобретаемому опыту. К основным принципам конструктивизма относятся следующие:

- Изучение представляет собой процесс поиска смысла. Поэтому обучение должно начинаться с исходного положения, вокруг которого обучаемый активно пытается построить умозрительную конструкцию, имеющую понятный ему смысл.
- Осмысление требует понимания предмета изучения, как в целом, так и его частей. Кроме того, части должны быть изучены в контексте целого. Следовательно, процесс обучения должен быть сфокусирован на общем представлении об изучаемом объекте, а не на отдельных фактах.
- Для повышения качества обучения, преподаватель должен понимать ментальные модели, которые обучаемые строят для осмысления изучаемого предмета, и предположения, которые они делают для обоснования данных моделей.
- Целью обучения является построение обучаемым собственного понимания рассматриваемой проблемы, а не заучивание «правильных ответов» или представлений других людей. Поскольку образование, по сути, является междисциплинарным, единственно действенным способом количественной оценки процесса обучения является включение в него разнообразных заданий, позволяющих обучаемому самому оценить уровень своих знаний.

Конструктивизм требует отказа от стандартизированных учебных программ. Вместо них он предлагает использовать учебные программы, приспособленные к имеющимся у обучаемых знаниям. Также конструктивизм акцентирует внимание на практическом решении изучаемых проблем.

Согласно конструктивизму преподаватели должны сфокусироваться на расстановке связей между фактами и стимулировании процесса осмысления у обучаемых. Педагоги должны строить их стратегию обучения в зависимости от ответов обучаемых и побуждать последних к проведению анализа, интерпретации и прогнозированию изучаемой проблемы. Преподаватели должны в основном использовать тестовые задания в открытой форме не ограниченные временем и поощрять экстенсивные диалоги между обучаемыми. Конструктивизм требует отказа от оценочной шкалы и стандартизированного тестирования. Вместо этого, оценивание становится частью учебного процесса и усиливается роль обучаемого в оценке его познавательной деятельности.

### **Теория нейролингвистического программирования**

В теории нейролингвистического программирования под процессом обучения понимают движение информации через нервную систему обучаемого. Обработываемая информация подразделяется на сенсорную (нейро) и вербальную (лингво). В нервной системе человека осуществляется получение информации (ввод), ее хранение, переработка и воспроизведение в какой-либо форме (вывод) [6]. Данная теория позволяет дифференцировать обучаемых по следующим критериям:

- по уровню развития основных каналов прохождения информации: визуальных (зрение), аудиальных (слух) или кинестетических (ощущения);
- по уровню развития полушарий головного мозга: лево- и правополушарные.

Следует отметить, что левое полушарие отвечает за логическое, вербальное мышление, в то время как правое — за эмоциональные процессы. Согласно данной теории нервная система человека уникальна и от сочетания ее особенностей непосредственно зависит эффективность системы обучения.

### **Когнитивная психология**

Объектом изучения когнитивной психологии являются процессы познания отдельного индивидуума, а именно: восприятие, мышление, решение задач, обучение. Методом исследования когнитивной психологии является моделирование информационных процессов. В зарубежной литературе по данной тематике когнитивная психология рассматривается как часть науки о познании, имеющая много общего с искусственным интеллектом. Причем исследование относят к искусственному интеллекту, если целью его проведения является разработка программной реализации некоторых интеллектуальных действий, независимо от методики их осуществления человеком. С точки зрения когнитивной теории обучения, мозг человека представляет собой высокоорганизованный компьютер, обрабатывающий поток входной информации. Объектом исследования когнитивной психологии является моделирование следующих процессов обработки информации:

- воздействие стимула на рецепторы организма и его последствия;
- сохранение информации в кратковременной памяти;
- сохранение информации в долговременной памяти;
- кодирование и декодирование информации;
- поиск информации, а также ее влияние на поведение организма.

Когнитивную модель учения можно представить следующим образом. Внешняя среда воздействует на рецепторы организма с помощью стимулов, которые (рецепторы) формируют образ. Сформированный рецепторами образ стимулов подается на сенсорные регистры. После чего преобразованные данные записываются в кратковременную память. В кратковременной памяти на протяжении 20–30 секунд хранятся только основные характеристики исходных стимулов (4–7 понятий). Затем информация или регенерируется или стирается. Из кратковременной памяти информация может поступать в долговременную. При этом она подвергается процессу семантического кодирования. В ходе данного процесса стимулы преобразуются в утверждения с определенным смыслом и маркируются необходимыми для последующего поиска кодами. Результатом поиска является декодирование найденной информации с последующей ее записью в кратковременную память, где она может быть преобразована в действия, осуществляемые эффекторами организма, или скомбинирована с другой информацией, в процессе формирования новых знаний и навыков. Все основные действия осуществляются под контролем процессов исполнительного управления. Они выбирают и активизируют познавательные стратегии организма (управление вниманием, кодирование поступающей информации, хранение и поиск данных) [7].

В [8] приведены рекомендации психологов-когнитивистов по проектированию обучающих систем. Необходимо отметить, что целью обучения может быть приобретение:

- интеллектуальных навыков;
- познавательных стратегий;
- вербальной информации;
- моторных навыков;

— отношений.

Независимо от вида учения выделяют девять типов обучающих воздействий, связанных с соответствующими внутренними процессами учения. В приведенной ниже таблице указано соответствие внутренних учебных процессов обучающим воздействиям.

Внутренний учебный процесс	Внешнее обучающее воздействие
Беспокойство	Привлечение внимания
Ожидание	Сообщение обучаемому цели занятия
Поиск и запись информации в рабочую память	Стимулирование вспоминания предыдущего обучения
Избирательное восприятие	Представление существенных характеристик стимулов
Семантическое кодирование	Направление усвоения
Поиск и организация ответа	Выявление степени владения
Подкрепление	Обеспечение информативной обратной связи
Сигнальный поиск	Оценка степени владения
Обобщение	Многочисленная выдача видоизмененного стимула

Введение понятия процесса исполнительного управления позволяет:

- описывать различные механизмы учения,
- моделировать индивидуальные особенности процессов обучения индивидуума.

Графическая иллюстрация основных процессов когнитивной теории учения приведена на рисунке 1.

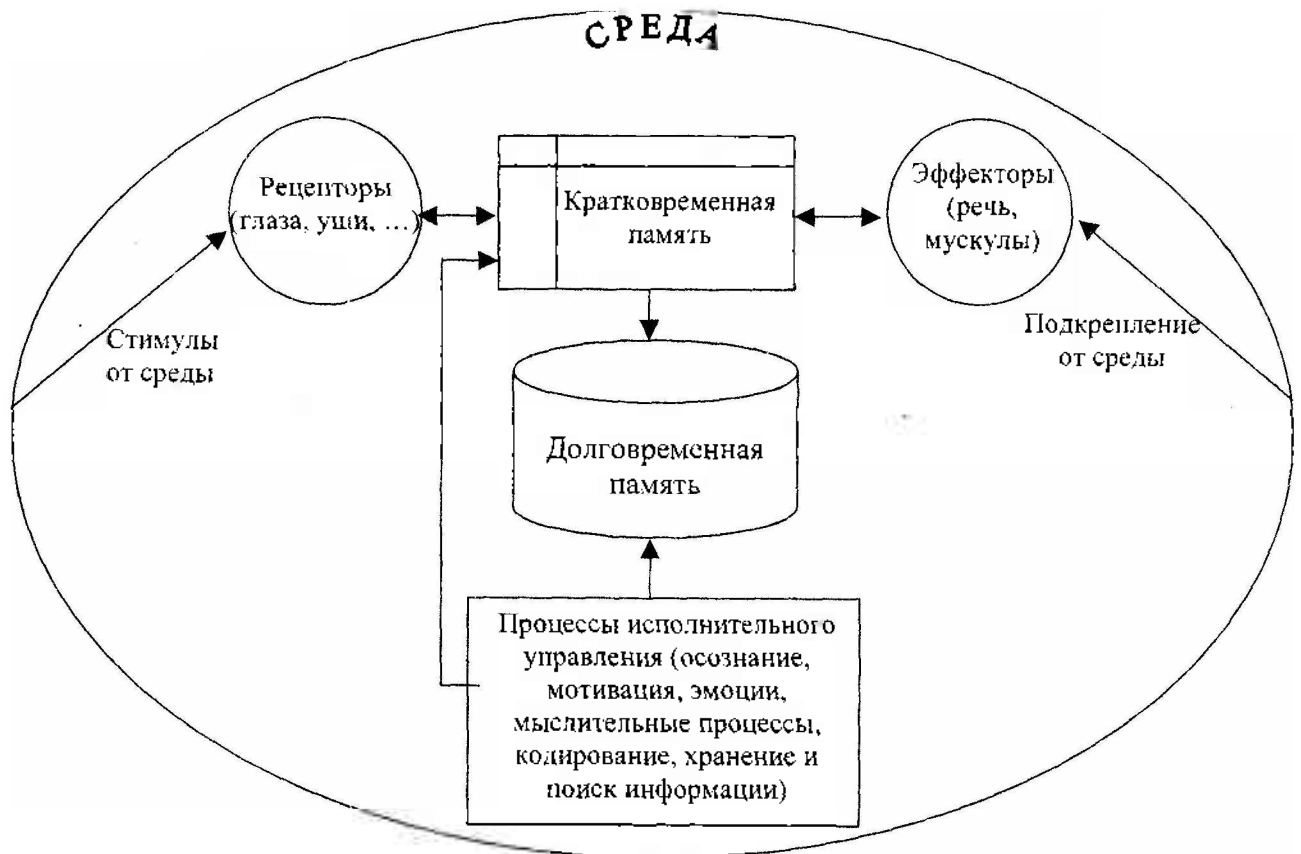


Рис. 1

## Выводы

Как уже было отмечено выше, из рассмотренных теорий обучения наиболее простой в программной реализации является бихевиористическая. С помощью данной теории возможна реализация адаптивного обучения, поскольку дальнейший ход учебного процесса полностью определяется результатом решения обучаемым тестового задания. Однако эта теория не дает каких-либо рекомендаций по методике изложения теоретического материала, в ней практически отсутствует мотивация обучаемого, а возможности адаптации под психическое состояние обучаемого крайне ограничены. В отличие от бихевиористической теории обучения, конструктивизм учитывает мыслительные процессы обучаемого, рассматривая учебный процесс как адаптацию ментальных моделей обучаемого к приобретаемому опыту в процессе осмысления изучаемой проблемы. Согласно конструктивизму, процесс обучения сфокусирован на общем представлении о предмете изучения, а не на отдельных фактах. Целостной организации изучаемого объекта уделяется особое внимание в гештальттеории, одной из самых оригинальных теорий обучения. По-видимому, обоснование необходимости осмысления исследуемого объекта в целом является наиболее значительным вкладом данной теории. Возвращаясь к конструктивизму, нельзя не отметить то, что он указывает на необходимость расстановки связей между фактами. В этом проявляется его сходство с ассоциативно-рефлекторной теорией обучения, которая рассматривает обучение как процесс связывания различных элементов знания. Последняя также регламентирует основные этапы учебного процесса. Данную теорию гармонично дополняет теория поэтапного формирования умственных действий, которая указывает на необходимость осуществления мотивации обучаемого перед началом работы с учебным материалом, а также создания ориентировочной основы учебной деятельности (предоставление обучаемому общей структуры изучаемого курса). Теория поэтапного формирования умственных действий вполне может применяться на этапе регистрации и осмысления новых знаний ассоциативно-рефлекторной теории, поскольку предписывает организацию учебной деятельности в процессе перехода от материальной (материализованной) формы к абстрагированной свернутой, исключительно умственной форме. Очевидно, что при обучении алгоритмам решения задач, наиболее эффективной является специально разработанная для этой цели теория алгоритмизации. Поэтому на этапе регистрации новых знаний следует использовать данную теорию вместо теории поэтапного формирования умственных действий. Пожалуй, самой оригинальной из проанализированных теорий обучения является суггестопедическая теория. В отличие от других теорий обучения, данная теория подчеркивает необходимость создания эстетических и комфортных условий обучения, что немаловажно для повышения его эффективности. Когнитивная психология представляет собой совокупность различных теорий обучения, которые являются адекватным базисом для создания интеллектуальных обучающих систем. Рассматривая обучение как процесс обработки информации, когнитивная теория, по сути, включает в себя основные положения теории нейролингвистического программирования. Недостатком когнитивистского подхода к проектированию обучающих систем является то обстоятельство, что он замыкается на внутренних процессах феномена учения и игнорирует вопросы, касающиеся взаимодействия обучаемых между собой и с преподавателем, влиянием на них социального, исторического и культурного опыта человечества. Наиболее существенный вклад теории содержательного обобщения заключается как в привлечении внимания к знаковой модели в процессе выявления существенных признаков изучаемого явления, так и в раскрытии механизмов формирования нового понятия системы теоретического знания.

На основе анализа вышеописанных теорий обучения, были сформулированы рекомендации по их применению в процессе разработки компьютерных обучающих систем с использованием сценарного подхода. Так, например, при составлении глобального сценария компьютерной обучающей системы следует перед предоставлением учебного материала осуществить мотивацию обучаемого, ознакомить его с общей структурой учебного материала (теории алгоритмизации и поэтапного формирования умственных действий). При разработке локальных сценариев следует в их начало поместить учебные задания с разнообразными графическими иллюстрациями (материализованная форма учебной деятельности), а затем более абстрактные упражнения (умственная форма). Если обучаемый не справляется с выполнением задания, то следует осуществить напоминание пройденного материала (ассоциативно-рефлекторная теория). С целью упрощения анализа ответов обучаемого, в основу сценариев заданий следует положить универсальную бихевиористическую формулу. Кроме того, в глобальном сценарии после изучения определенного количества информационных фрагментов следует предусмотреть выдачу обобщающих пройденный материал сведений (теория содержательного обоб-

щения). В сценарий обучения должны обязательно входить учебные задания, построенные на основе реальной практической ситуации и позволяющие проверить понимание базовой концепции изучаемого предмета в целом. Проработка таких заданий побуждает обучаемого к комплексной оценке учебной ситуации, что способствует его интеллектуальному развитию (теория нейролингвистического программирования). С учетом сформулированных рекомендаций был разработан «мастер сценариев» интегрированной среды разработчика компьютерных обучающих систем, который автоматизирует процесс создания как глобальных, так и локальных сценариев обучающей системы.

**Список литературы:** 1. *Скиннер Б.Ф.* Наука об учении и искусство обучения // "Программированное обучение за рубежом". М.: Высшая школа, 1968. С.32-46. 2. *Краудер Н.А.* О различиях между линейным и разветвленным программированием // "Программированное обучение за рубежом". М.: Высшая школа, 1968. С.58-67. 3. *Талызина Н.Ф.* Управление процессом усвоения знаний. М.: МГУ, 1975. 4. *Ланда Л.Н.* О кибернетическом подходе к теории обучения // Вопросы философии, 1962, № 9. 5. *Jacqueline and Martin Brooks,* The Case for Constructivist Classrooms. *Education Leadership*, November, 1995. 6. *Robert Sylwester.* What the Biology of the Brain Tells Us About Learning. *Education Leadership*, December, 1993. 7. *Gagne R.M., Briggs L.J.* Principles of instructional design. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1979. 8. *Gagne R.M., Wager W., Rojas A.* Planning and authoring computer-assisted instruction lessons // *Educational Technology*. 1981. P.17-26.

*Поступила в редколлегию 30.09.2002*

## АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Белоус Наталья Валентиновна – канд. техн. наук, доцент ХНУРЭ
- Бондаренко Михаил Федорович – д-р техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Бурцев Валерий Николаевич – аспирант ХНУРЭ
- Буслик Николай Николаевич – д-р техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Васильев Константин Алексеевич – студент ХНУРЭ
- Выродов Александр Павлович – аспирант ХНУРЭ
- Гнусов Юрий Валериевич – канд. техн. наук, доцент Национального университета внутренних дел
- Дударь Зоя Владимировна – канд. техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Дюбко Геннадий Федорович – канд. техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Ерохин Андрей Леонидович – канд. техн. наук, доцент Национального университета внутренних дел
- Збитнева Майя Вячеславовна – аспирант ХНУРЭ
- Золкина Элла Анатольевна – м.н.с. Донецкого государственного института искусственного интеллекта
- Какурин Николай Яковлевич – канд. техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Королев Анатолий Викторович – канд. техн. наук, профессор ХВУ
- Лапта Сергей Иванович – канд. физ.-мат. наук, доцент ХНУРЭ
- Лапта Станислав Сергеевич – аспирант ХНУРЭ
- Летучий Дмитрий Алексеевич – аспирант ХНУРЭ
- Лешенко Ирина Евгеньевна – соискатель Харьковского гуманитарного университета "Народная академия"
- Лисиченко Николай Леонидович – канд. техн. наук, доцент Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства
- Лопухин Юрий Владимирович – ст. преподаватель ХНУРЭ
- Любченко Валентин Анатольевич – аспирант ХНУРЭ
- Макаренко Анна Николаевна – канд. техн. наук, доцент ХНУРЭ
- Маторин Сергей Игоревич – канд. техн. наук, докторант ХНУРЭ
- Михаль Олег Филиппович – канд. техн. наук, доцент ХНУРЭ
- Оградина Юлия Николаевна – аспирант ХНУРЭ
- Путятин Евгений Петрович – д-р техн. наук, профессор ХНУРЭ
- Работягов Андрей Валентинович – м.н.с. Харьковского института изучения проблем преступности академии правовых наук Украины
- Ронин Виктор Маркович – студент ХНУРЭ
- Севастьянов Артем Борисович – менеджер интернет-офиса "Восток"
- Сироджа Игорь Борисович – канд. техн. наук, профессор, Харьковский авиационный университет
- Тимофеев Владимир Александрович – м.н.с., соискатель ХНУРЭ
- Четвериков Григорий Григорьевич – канд. техн. наук, доцент ХНУРЭ
- Шаронова Наталья Валериевна – д-р техн. наук, Харьковский гуманитарный университет "Народная академия"
- Шевченко Алексей Владимирович – студент ХНУРЭ
- Шкиль Александр Сергеевич – канд. техн. наук, доцент ХНУРЭ
- Шубин Игорь Юрьевич – канд

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бондаренко М. Ф., Четвериков Г. Г.</i> Особливості архітектурних побудов просторових k-значних структур мовних систем штучного інтелекту .....	3
<i>Бондаренко М. Ф., Дударь З. В., Збитнева М. В.</i> SCADA-системы в электроэнергетике .....	10
<i>Ронин В. М., Дюбо Г. Ф.</i> Разработка и исследование интеллектуальной поддержки игровых программ .....	15
<i>Буслик Н. Н., Летучий Д. А.</i> Организация объектно-ориентированного предикативного синтаксического анализатора .....	21
<i>Сироджа И. Б.</i> Информационная технология интеллектуальной поддержки принятия технологических решений в машиностроении .....	26
<i>Бурцев В. Н., Гнусов Ю. В., Ерохин А. Л.</i> Формализация модели оптического волоконного системного канала .....	34
<i>Какурин Н. Я., Лопухин Ю. В., Макаренко А. Н.</i> Трехтактный двухкодерный преобразователь двоично-k-значного кода в двоичный код на регистрах сдвига .....	39
<i>Любченко В. А., Пуятин Е. П.</i> Математические модели зрительного восприятия и нормализации изображений .....	44
<i>Липта С. И.</i> Феноменологические математические модели динамики уровня глюкозы в крови человека и их применение в диабетологии .....	49
<i>Королев А. В.</i> Обобщенная оценка информативности изображения по отдельному признаку .....	56
<i>Работягов А. В.</i> Моделирование системы идентификации человека по параметрам речи с использованием принципов нейронной сигнализации .....	60
<i>Шевченко А. В.</i> Гипотеза сознания или информационные системы нового типа .....	65
<i>Липта С. С.</i> Повышение физиологической адекватности функционально-феноменологической математической модели ПТГГ .....	77
<i>Шаронова Н. В., Леценко И. Е.</i> Анализ методов поиска информации в базах данных .....	82
<i>Тимофеев В. А.</i> Эллипсоидальное оценивание параметров динамического объекта при наличии ограниченных помех .....	85
<i>Михаль О. Ф.</i> Локально-параллельная согласованная корректировка термов лингвистической переменной .....	88
<i>Золкина Э. А.</i> Межполушарная асимметрия при опознании зрительных образов .....	94
<i>Оградина Ю. Н.</i> О построении фрагмента концептуальной классификационной модели проблемной области чрезвычайных ситуаций .....	101
<i>Лисиченко Н. Л.</i> Определение комплексного показателя преломления среды в процессах лазерной обработки биологических объектов .....	107
<i>Маторин С. И.</i> Классификация образов организационных систем .....	111
<i>Шкиль А. С., Севастьянов А. Б., Васильев К. А.</i> Принципы построения электронных учебников по техническим дисциплинам .....	118
<i>Белоус Н. В., Шубин И. Ю., Выродов А. П.</i> Психологические основы построения обучающих систем .....	124

## CONTENTS

<i>Bondarenko M.F., Chetverikov G.G.</i> Singularities of architectural build-up of k-unit frames of language systems of an artificial intelligence .....	3
<i>Bondarenko M., Dudar Z., Zbitneva M.</i> SCADA-systems in electroenergetics .....	10
<i>Ronin V.M., Dubko G.F.</i> Development and reseach of intellectual support of the game programs .....	15
<i>Buslik N.N., Letuchiy D.A.</i> Organization of object-oriented predictive parser .....	21
<i>Sirodzhia I.B.</i> Information technology of intelligent support for making technological decision in machine building .....	26
<i>Burtsev Val., Gnusov Y.V., Yerokhin A.</i> Formalization of model of the optical fiber system channel .....	34
<i>Kakurin N.Ya., Lopukhin Yu.V., Makarenko A.N.</i> Three-Tacts Two-Coders Converter from BCK-valued Code to Binary Code on Shift Registers .....	39
<i>Putyatin E.P., Ljubchenko V.A.</i> Mathematical models of vision perception and images normalization .....	44
<i>Lapta S.I.</i> Phenomenologica' mathematical models of glucose level dynamics in human blood and it's application in diabetology .....	49
<i>Korolyov A.V.</i> The generalized evaluation images information's to a separate tag .....	56
<i>Rabotyagov A.V.</i> The model of the system of identification of a person on speech parameters with the usage of the principles of neuronal signals .....	60
<i>Shevchenko A.V.</i> Hypothesis of consciousness or information systems of new type .....	65
<i>Lapta S.S.</i> The increasing of physiological adequacy of functional-phenomenological mathematical model of OGNN .....	77
<i>Sharonova N., Leschenko I.</i> The analysis of methods of search in databases .....	82
<i>Timofeyev V.A.</i> Ellipsoidal estimation of parameters of the dynamic object with presence of limited mads .....	85
<i>Mikhail O.Ph.</i> Local-parallel coordinated adjustment of therms of linguistically based variable .....	88
<i>Zolkina E.A.</i> Semihemispherical asymmetry at an identification of visual images .....	94
<i>Ogradina Y.M.</i> About construction of a fragment conceptual classification model of problem area extraordinary situations .....	101
<i>Lisichenko N.</i> Finding the complex index of medium refraction in the processes of laser treatment of biological objects .....	107
<i>Matorin S.I.</i> Shapes classification of organisational systems .....	111
<i>Shkil A.S., Sevactyanov A.B., Vasilyev K.A.</i> Principles of build-up of electron tutorials on engineering disciplines .....	118
<i>Belous N.V., Shubin I.Y., Vyrodov O.P.</i> The psychological basis of learning system creation .....	124

## РЕФЕРАТЫ

## РЕФЕРАТИ

## ABSTRACTS

УДК 519.71

**Особенности архитектурного построения k-значных структур языковых систем искусственного интеллекта / М.Ф. Бондаренко, Г.Г. Четвериков // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 3–9.**

В статье рассматриваются перспективные направления развития современных цифровых устройств, сетей и систем. Проведенный анализ показывает, что развитие средств вычислительной техники является основой автоматизации умственной деятельности человека. Однако, успехи в области интеллектуализации вычислительной техники невелики. Утверждается и обосновывается, что техническая реализация концепции искусственного интеллекта требует существенного повышения производительности ЭВМ, а именно: разработку параллельных (пространственных) принципов и методов обработки информации на уровне интерфейса для восприятия и выдачи информации на естественном языке.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. 13.

УДК 519.71

**Особливості архітектурних побудов просторових k-значних структур мовних систем штучного інтелекту / М.Ф. Бондаренко, Г.Г. Четвериков // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вып. 56. С. 3–9.**

У статті розглядаються перспективні напрямки розвитку сучасних цифрових пристроїв, мереж та систем. Стверджується, що розвиток засобів обчислювальної техніки є базою автоматизації розумової діяльності людини. Проте, успіхи в галузі інтелектуалізації обчислювальної техніки незначні. Наведено, що технічна реалізація концепції штучного інтелекту вимагає значного підвищення продуктивності ЕОМ, а саме: розроблення паралельних (просторових) принципів та методів оброблення інформації на рівні інтерфейсу для сприйняття і видачі інформації на природній мові.

Табл. 1. Іл. 2. Бібліогр. 13.

UDC 519.71

**Singularities of architectural build-up of k-unit frames of language systems of an artificial intelligence / M.F. Bondarenko, G.G. Chetverikov // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 3–9.**

In article the perspective directions of modern digital devices, networks and systems development are considered. The carried out analysis shows means of computer facilities development is a baseline of automation of the man intellectual activity. However, the successes in the field of computer facilities intellectualization are insignificant. It asserts and proves that the technical realization of the concept of artificial intelligence requires essential increase of the computer productivity, namely: creation of parallel (spatial) principles and methods of the information processing at the interface level for perception and delivery of the information in natural language.

Tabl. 1. Fig. 2. Ref. 13.

УДК 621.311:658.011.56

**SCADA-системы в электроэнергетике / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, М.В. Збитівсва // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 10–14.**

Проведен анализ SCADA-систем. Представлены функции, набор средств, описание наиболее известных из них. Сделан вывод о необходимости развития методов, способов и средств хранения, обработки, передачи и отображения информации, которые направлены на расширение круга задач SCADA-систем и обеспечение своевременности и безошибочности принятия управленческих решений.

Табл. 1. Библиогр.: N назв.

УДК 621.311:658.011.56

**SCADA-системи в електроенергетиці / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, М.В. Збітівсва // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вып. 56. С. 10–14**

Проведено аналіз SCADA-систем. Представлено функції, набір засобів, опис найбільш відомих з них. Зроблено висновок про необхідність розвитку методів, способів і засобів збереження, обробки, передачі і відображення інформації, що спрямовані на розширення кола задач SCADA-систем і забезпечення своєчасності і безпомилковості прийняття управлінських рішень.

Табл. 1. Бібліогр.: N назв.

УДК 621.311:658.011.56

**SCADA-systems in electroenergetics. / M. Bondarenko, Z. Dudar, M. Zbitneva**  
**// Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 10–14.**

The analysis of SCADA-systems is carried out. The functions, set of means, description of most known of them are presented. The conclusion about necessity of development of methods, ways and means of a storage, processing, transfer and display of the information was made. They are directed on expansion of tasks range of SCADA-systems and maintenance of timeliness and faultlessness of administrative decisions making.

1 tab. 1. Ref.: N items.

---

УДК 519.6

**Разработка и исследование интеллектуальной поддержки игровых программ / В.М. Ронин, Г.Ф. Дюбко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 15–20.**

Изложен подход к разработке интеллектуальной поддержки игровых программ. приведен пример построения интеллектуального компонента игры с использованием баз знаний хорновских дизъюнктов.

Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

УДК 519.6

**Розробка та дослідження інтелектуальної підтримки гральних програм / В.М. Ронин, Г.Ф. Дюбко // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 15–20.**

Викладено підхід до розробки систем інтелектуальної підтримки ігрових програм. Приведено приклад побудови інтелектуального компонента гри з використанням баз знань хорновських диз'юнктив.

Іл. 4. Бібліогр. 3 назв.

UDC 519.6

**Development and reseach of intellectual support of the game programs / V.M. Ronin, G.F. Dubko**  
**// Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 15–20.**

The approach to system engineering of intellectual support of the game programs is stated. The example of construction of an intellectual component of game with use of the knowledge bases on horn disjunct is given.

Fig. 4. Ref.: 3 items.

---

УДК 519.685

**Организация объектно-ориентированного предиктивного синтаксического анализатора / Н.Н. Буслик, Д.А. Летучий // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 21–25.**

Рассмотрен вопрос создания промежуточного кода предложений языка на основе объектов иерархии классов, задаваемой нетерминалами LL(1) грамматики. Действия синтаксического анализатора описаны с помощью схемы трансляции.

Ил. 5. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.685

**Організація об'єктно-орієнтованого предиктивного синтаксичного аналізатора / М.М. Буслик, Д.О. Летучий // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 21–25.**

Розглянуто питання створення проміжного коду речень мови на основі об'єктів ієрархії класів, що задається нетерміналами LL(1) граматики. Дії синтаксичного аналізатора описані за допомогою схеми трансляції.

Іл. 5. Бібліогр.: 4 назв.

UDC 519.685

**Organization of object-oriented predictive parser / N.N. Buslik, D.A. Letuchiy // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 21–25.**

The question of intermediate code generation of language sentences on the base of class hierarchy, which is determined by LL(1) grammar's nonterminals, was considered. Parser actions were described with the help of translation scheme.

5 fig. Ref.: 4 items.

---

УДК 519.81

**Информационная технология интеллектуальной поддержки принятия технологических решений в машиностроении / И.Б. Сироджа // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 26–33.**

Рассмотрены преимущества применения квантовых моделей и методов инженерии знаний для создания интеллектуальных систем поддержки принятия технологических решений в условиях неопределённости. Предложено эффективную информационную технологию поддержки технологических решений в машиностроении, которая базируется на использовании метода вероятных алгоритмических квантов знаний (ВКАЗ-метод)

УДК 519.81

**Інформаційна технологія інтелектуальної підтримки прийняття технологічних рішень в машинобудуванні / І.Б. Сіроджа // Проблеми біоники: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 26–33.**

Розглянуто переваги застосування квантових моделей і методів інженерії знань для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття технологічних рішень в умовах невизначеності. Запропоновано ефективну інформаційну технологію підтримки технологічних рішень в машинобудуванні, що ґрунтується на використанні методу імовірних алгоритмічних квантів знань (ІАКЗ-метод).

UDC 519.81

**Information technology of intelligent support for making technological decision in machine building / I. B. Sirodza // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 26–33.**

Advantages of quantum models and methods of engineering knowledge used for creating intelligent system of making technological decisions in indefinite conditions are concerned. Effective information technology of making technological decisions in machine building, based on using the method of probable algorithmic quantum of knowledge (PAQK-method) is proposed.

УДК 621.391.199

**Формализация модели оптического волоконного системного канала / Вал.Н. Бурцев, Ю.В.Гнусов, А.Л. Ерохин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 34–38.**

Рассматривается формализованная модель оптического волоконного системного канала. Предложенная модель может использоваться для моделирования структурной организации сетчатки глаза. Исследованы вопросы адекватности модели.

Библиогр.: 17 назв.

УДК 621.391.199

**Формалізація моделі оптичного волоконного системного каналу / Вал.Н. Бурцев, Ю.В.Гнусов, А.Л. Єрохін // Проблеми біоники: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 34–38.**

Розглядається формалізована модель оптичного волоконного системного каналу. Запропонована модель може використовуватися для моделювання структурної організації сітчатки ока. Досліджені питання адекватності моделі.

Бібліогр.: 17 назв.

UDC 621.391.199

**Formalization of model of the optical fiber system channel / Val. Burtsev, Y.V.Gnusov, A. Yerokhin // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 34–38.**

The formalized model of the optical fiber system channel is considered. The offered model can be used for modeling structural organization of a retina of an eye. The problems of adequacy to model are investigated.

Refs: 17 items.

УДК 681.325

**Трехтактовый двухкодерный преобразователь двоично-К-значного кода в двоичный код на регистрах сдвига / Н.Я.Какурин, Ю.В.Лопухин, А.Н.Макаренко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 39–43.**

Анализируется структура и функционирование оригинального трехтактового двухкодерного преобразователя кодов, реализующего метод накопления эквивалентов и обладающего высоким быстродействием и малыми аппаратными затратами.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 681.325

**Трьохтактовий двокодерний перетворювач двійково-К-значного коду у двійковий код на регістрах зсуву / М.Я.Какурін, Ю.В.Лопухін, Г.Н.Макаренко // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 39–43**

Аналізується структура та функціонування оригінального трьохтактового двокодерного перетворювача кодів, який реалізує метод накопичування еквівалентів та має високу швидкість і малі апаратні витрати.

Табл. 1. Ил. 1. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 681.325

**Three-Tacts Two-Coders Converter from BCK-valued Code to Binary Code on Shift Registers / N.Ya.Kakurin, Yu.V.Lopukhin, A.N.Makarenko // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 39–43.**

The structure and functioning of an original three-tact's two-coders code converter on shift registers realizing the method of accumulation of the equivalents and has high speed and low hardware cost is analysed.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 3 items.

УДК 681.007.05/618.3.019

**Математические модели зрительного восприятия и нормализации изображений / Е. П. Путятин, В. А. Любченко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 44–48.**

Рассматривается построение математической модели зрения на основе проективной группы, что позволяет ближе приблизиться к моделированию восприятия человеческим глазом. Геометрическая интерпретация разложения проективной группы приводит к построению параллельных и последовательно-параллельных нормализаторов. Тестирование на компьютерной модели подтвердило правомочность предложенной модели.

Ил. 7. Библиогр.: 2 назв.

УДК 681.007.05/618.3.019

**Математичні моделі зорового сприйняття і нормалізації зображень / Е. П. Путятін, В. А. Любченко // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 44–48.**

Розглядається побудова математичної моделі зору на основі проективної групи, що дозволяє ближче наблизитися до моделювання сприйняття людським оком. Геометрична інтерпретація розкладання проективної групи приводить до побудови паралельних і послідовно-паралельних нормалізаторів. Тестування на комп'ютерній моделі підтвердило правомочність запропонованої моделі.

Ил. 7. Бібліогр.: 2 назв.

UDC 681.007.05/618.3.019

**Mathematical models of vision perception and images normalization / E. P. Putyatin, V. A. Ljubchenko // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 44–48.**

The construction of mathematical vision model is considered, according to the projective group, that allows to cote more right to the model of perception of human eyes. The geometrical interpretation of the decomposition of projective group leads to the construction of the parallel and consisted normalizers. The testing of the computer model proved that the offered model was correct.

7 fig. Ref.: 2 items.

УДК 519.95; 612.018

**Феноменологические математические модели динамики уровня глюкозы в крови человека и их применение в диабетологии / С.И. Лапта // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 49–55.**

Проанализированы все известные феноменологические математические модели динамики уровня гликемии, показана их взаимосвязь с новой, более универсальной и более физиологически адекватной моделью, предложенной автором статьи ранее. Новая модель благодаря новому осмыслению всех ее составляющих и адекватности клиническим данным, превосходит известные модели углеводного обмена, номинально относящихся к более высокому классу математического описания.

Ил. 3. Библиогр. 10 назв.

УДК 519.95; 612.018

**Феноменологічні математичні моделі динаміки рівня глюкози у крові людини та їх застосування у діабетології // С.І. Лапта // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 49–55.**

Піддані аналізу всі відомі феноменологічні математичні моделі динаміки рівня глікемії, показано їх взаємозв'язок з новою, більш універсальною та більш фізіологічно адекватною моделлю, запропонованою автором статті раніше. Нова модель завдяки фізіологічному усвідомленню усіх її складових та адекватності клінічним даним, перевершує відомі моделі вуглеводного обміну, що номінально відносяться до більш високого класу математичного опису.

Іл. 3. Бібліогр. 10 назв.

UDC 519.95; 612.018

**Phenomenological mathematical models of glucose level dynamics in human blood and it's application in diabetology / S.I. Lapta // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 49–55.**

All known phenomenological mathematical models of glycemic level dynamics have been analyzed and their interrelation with the new, more universal and more physiologically adequate model, proposed by the author earlier, has been shown. Owing to physiological compression of all the components of the new model and to clinical data's adequacy, it excels the known models of carbohydrate exchange that nominally concern to a high class of mathematically description.

Fig. 3. Ref. 10 items.

---

УДК 621.327

**Обобщенная оценка информативности изображения по отдельному признаку / А.В. Королев // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 56–59.**

Рассматриваются основные теоретические положения исключения избыточности изображений по признаку какой-либо физической природы. Как обобщающий подход вводится понятие информативности признака. Приведены основные свойства количественного показателя информативности изображения по признаку произвольной природы.

Ил. 1. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.327

**Узагальнена оцінка інформативності зображення по окремій ознаці / А.В. Корольов // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 56–59**

У статті розглядаються основні теоретичні положення виключення надмірності зображень по ознаці будь-якої фізичної природи. Як узагальнюючий підхід вводится поняття інформативності ознаки. Викладаються основні властивості кількісного показника інформативності зображення по ознаці довільної природи.

Іл. 1. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 621.327

**The generalized evaluation images information's to a separate tag/ A.V.**

**Korolyov // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 56–59.**

The fundamental theoretical positions of elimination of redundancy of images to a tag of any physical nature are considered. As the extending approach is introduced concept of selfdescriptiveness of a tag. The fundamental properties of a quantity indicator of selfdescriptiveness of the image to a tag of the arbitrary nature are reduced.

Fig. 1. Ref.: 3 items.

---

УДК 519.711.3 + 004.023 + 004.934 + 004.89:612.822

**Моделирование системы идентификации человека по параметрам речи с использованием принципов нейронной сигнализации / А. В. Работягов // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 60–64.**

В статье отражены в наиболее существенных чертах особенности разработанной компьютерной системы идентификации говорящего по параметрам речи. Математические модели системы базируются на эвристическом подходе к формализации знаний не только о некоторых процессах, происходящих на разных уровнях нервной системы живых организмов, но и знаний о возможных (бесконечных) формах представления свойств и специфических связей исследуемого объекта (в частности, речевого сигнала). Одной из таких форм является *геометрическое* представление свойств речевых сигналов, на котором и акцентирует внимание автор статьи. Параметры моделей выбраны с учетом данных исследований известных нейрофизиологов, таких как В. Д. Кейдель, С. Куффлер, Дж. Николс, Н. П. Бехтерева.

Табл. 0. Ил. 1. Библиогр.: 11 назв.

УДК 519.711.3 + 004.023 + 004.934 + 004.89:612.822

**Моделювання системи ідентифікації людини за параметрами мови з застосуванням принципів нейронної сигналізації / А. В. Роботягов // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 60–64**

В статті подані в найбільш суттєвих рисах властивості розробленої комп'ютерної системи ідентифікації людини за параметрами мови. Математичні моделі системи базуються на евристичному підході до формалізації знань не тільки про деякі процеси, які мають місце на різних рівнях нервової системи живих організмів, але й знань про можливі (безкінечні) форми представлення властивостей і специфічних зв'язків об'єкта, що досліджується (зокрема, мовного сигналу). Одною з таких форм є геометричне представлення властивостей мовних сигналів, на якому і акцентує увагу автор статті. Параметри моделей вибрані з урахуванням даних досліджень відомих нейрофізіологів, таких як В. Д. Кейдель, С. Куффлер, Дж. Ніколс, Н. П. Бехтерева.

Табл. 0. Іл. 1. Бібліогр.: 11 назв.

UDC 519.711.3 + 004.023 + 004.934 + 004.89:612.822

**The model of the system of identification of a person on speech parameters with the usage of the principles of neuronal signals / A. V. Rabotyagov // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 60–64.**

The article gives the most essential features of the designed computer system for the identification of a person by parameters of speech. Mathematical models of the system are based upon heuristic approaches to the formalisation of the knowledge not only about some processes on different levels of nervous systems of living organisms but also about the knowledge of some possible (infinite) forms of presenting the properties and specific relations of the investigated object (a signal of speech in particular). Geometrical presentation of the properties of the signals of speech is one of such forms. The parameters of the model have been chosen on the base of the data received by well-known neurophysiologists W. D. Keidel, S. W. Kuffler, J. G. Nicholls, N. P. Bekhtereva.

0 tab. 1 fig. Ref.: 11 items.

УДК 53.081 + 681.322

**Гипотеза сознания или информационные системы нового типа / А.В. Шевченко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 65–76.**

Настоящая статья относится к проблематике искусственного интеллекта (Artificial Life) и посвящена вопросам исследования естественных и синтеза искусственных интеллектуальных систем. В статье на простых примерах анализируется специфика функционирования биологических информационных систем, таких как человек и животные, позволяющая выявить возможные закономерности механизма формирования сознания у живых существ, эксплицитным проявлением которого является мышление. Также применительно к функционированию этих систем рассматривается естественнонаучный аспект содержания фундаментальных понятий природы информации – семантики и знаний. Опираясь на методологию синергетики, нейронных сетей, традиционного искусственного интеллекта и используя системный подход, излагаются основные концепции и подходы к созданию принципиально иных «разумных» информационных систем нового типа.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 53.081 + 681.322

**Гіпотеза свідомості або інформаційні системи нового типу / О.В. Шевченко // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 65–76.**

Стаття відноситься до проблематики штучного інтелекту (Artificial Life) і присвячена питанням дослідження природних та синтезу штучних інтелектуальних систем. У статті на простих прикладах аналізується специфіка функціонування біологічних інформаційних систем, таких як людина і тварини, що дозволяє виявити можливі закономірності механізму формування свідомості у живих істот, експліцитним проявленням якої є мислення. А також відносно до функціонування цих систем розглядається природно-науковий аспект змісту фундаментальних понять природи інформації – семантики та знань. Опираючись на методологію синергетики, нейронних мереж, традиційного штучного інтелекту і використовуючи системний підхід, викладаються основні концепції та напрямки створення принципово інших «розумних» інформаційних систем нового типу.

Бібліогр.: 3 назви.

**Hypothesis of consciousness or information systems of new type / A.V. Shevchenko**

// **Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag.** 2002. № 56. P. 65–76

This article refers to problems of artificial intelligence (Artificial Life) and is devoted to questions of research of natural and synthesis of artificial intelligent systems. In article, the specificity of functioning of biological information systems such as Homo sapiens and animals is analyzed on simple examples, allowing to reveal possible legitimacies of the mechanism of formation of consciousness inherent in alive creatures. Explicit developing process of one's is intellection. As applied to functioning of these systems the natural-science aspect of the contents of fundamental concepts of a nature of the information - semantics and knowledge is also considered. The basic concepts and approaches to creation of essentially others information systems of new type is outlined basing on methodology of synergetics, neural networks, of traditional artificial intelligence and using the systems approach.

Ref.: 3 items.

---

УДК 519.95:612.018

**Повышение физиологической адекватности функционально-феноменологической математической модели ПТТГ / С.С. Лапта // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 77–81.**

Проведено сопоставление различных представлений вида функции всасывания глюкозы в кровь в кишечном тракте человека и их влияние на общий вид гликемической кривой перорального теста толерантности к глюкозе (ПТТГ). Проанализирована физиологическая адекватность использовавшихся ранее представлений этой функции. Предложена новая эмпирическая формула для описания функции всасывания глюкозы в кровь из кишечного тракта человека. Она повышает физиологическую адекватность функционально-феноменологической модели ПТТГ и ее диагностические возможности.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.95:612.018

**Підвищення фізіологічної адекватності функціонально-феноменологічної математичної моделі ПТТГ / С.С. Лапта // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вып. 56. С. 77–81.**

Зроблено порівняння різноманітного завдання вигляду функції всмоктування глюкози в кров у кишковому тракту людини та їх вплив на загальний вигляд глікемічної кривої перорального тесту толерантності до глюкози (ПТТГ). Проаналізовано фізіологічну адекватність використаних раніше іодань цієї функції. Запропоновано нову емпіричну формулу опису функції всмоктування глюкози в кров з кишкового тракту людини. Вона підвищує фізіологічну адекватність функціонально-феноменологічної моделі ПТТГ та її діагностичні можливості.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

UDC 519.95:612.018

**The increasing of physiological adequacy of functional-phenomenological mathematical model of OGNN / S.S. Lapta // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 77–81.**

The comparison of various ideas of the function form if glucose absorption into blood in human intestine and it's influence on total glycemie curve shape of oral glycemie tolerance test (OGTT) was carried out. The physiological adequacy of earlier used ideas of this function was analysed. The new empiric formula for describing of function of glucose absorption from human intestine into blood was offered. It increases physiological adequacy of functional-phenomenological mathematicat model of OGTT and it's diagnostic possibilities.

Fig. 4. Ref.: 10 items.

---

УДК 681.3.01.(075)

**Анализ методов поиска информации в базах данных / Н.В. Шаронова, И.Е. Лещенко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 82–84.**

В статье приводится сравнительный анализ методов идентификации в базах данных: двойного, статистического и методов, основанных на базах знаний, с определением преимуществ и недостатков каждого из этих методов. Сформулированы выводы о наиболее перспективных направлениях в процессе усовершенствования методов поиска информации.

Библиогр.: 6 назв.

УДК 681.3.01.(075)

**Аналіз методів пошуку інформації в базах даних / Н. В. Шаронова, І.Є. Лещенко**  
// **Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 82–84.**

В статті пропонується порівняльний аналіз методів ідентифікації в базах даних: двійкового, статистичного, та методів, заснованих на базі знань, з визначенням переваг і нестач кожного з цих методів. Сформульовані висновки про найбільш перспективні напрями в процесі вдосконалення методів пошуку інформації

Бібліогр.: 6 назв.

UDC 681.3.01.(075)

**The analysis of methods of search in databases / N. Sharonova, I. Leschenko**  
// **Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 82–84.**

A comparative analysis of methods of identification in databases has been observed: binary, statistical and knowledge bases methods, with definition of advantages and disadvantages of each one of these methods. The conclusions about the most perspective directions of the process of improvement of data search methods have been formulated.

Ref.: 6 items.

---

УДК 681.3

**Эллипсоидальное оценивание параметров динамического объекта при наличии ограниченных помех / В.А.Тимофеев // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 85–87.**

Рассматривается задача оценивания параметров авторегрессионной модели для случая, когда отсутствует информация о статистических свойствах сигналов, а известен лишь уровень помехи. Предлагается алгоритм оценивания параметров, который является модификацией рекуррентного МНК с экспоненциальным взвешиванием информации.

Библіогр.: 4 назв.

УДК 681.3

**Еліпсоїдальне оцінювання параметрів динамічного об'єкту при наявності обмежених завад / В.О.Тимофєєв // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 85–87.**

Розглядається задача оцінювання параметрів авторегресійної моделі для випадку, коли відсутня інформація про статистичні властивості сигналів, а відомим є лише рівень завади. Пропонується алгоритм оцінювання параметрів, який є модифікацією рекурентного МНК з експоненційним зважуванням інформації.

Бібліогр.: 4 назв.

UDC 681/3

**Ellipsoidal estimation of parameters of the dynamic object with presence of limited mads / V.A.Timofeyev // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 85–87.**

The problem of estimation of parameters of autoregression model for case when the information about the statistical properties of signals is absent but the level of mad is known is considered. The algorithm of estimation of parameters which is the modification of recurrent MNS algorithm with exponential weight of information is Proposed.

Ref.: 4 items.

---

УДК 519.87

**Локально-параллельная согласованная корректировка термов лингвистической переменной / О.Ф. Михаль // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 88–93.**

В адаптивных нечетких системах регулирования термы лингвистических переменных входных и выходных параметров могут корректироваться с целью улучшения эксплуатационных характеристик системы. Согласованная корректировка термов более эффективна, т.к. проводится с учетом степени их взаимной связи. Рассмотрены принципы организации согласованной корректировки на локально-параллельных нечетких алгоритмах, обеспечивающих повышенную производительность системы.

Ил.: 4. Табл.: 2. Библіогр.: 10 назв.

УДК 519.87

**Локально-паралельне погоджене коректування термів лінгвістичної змінної / О.П. Міхаль**

// **Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56, С. 88–93.**

В адаптивних нечітких системах регулювання терми лінгвістичних змінних вхідних і вихідних параметрів можуть коректуватися з метою поліпшення експлуатаційних характеристик системи. Погоджене коректування термів більш ефективне, тому що проводиться з урахуванням ступеня їхнього взаємного зв'язку. Розглянуто принципи організації погодженого коректування за локально-паралельними нечіткими алгоритмами, що забезпечують підвищену продуктивність системи.

Ил.: 4. Табл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 519.87

**Local-parallel coordinated adjustment of terms of linguistically based variable / O.Ph. Mikhal**

// **Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 88–93.**

Linguistically-based variable of parameters in adaptive fuzzy control systems can be corrected for the reason of improvements of field-performance datas of system. Coordinated adjustment of terms is more efficient, since it depends on value of cross connection between them. Principles of organization of a coordinated adjustment are considered using local-parallel fuzzy algorithms, providing increased system efficiency.

4 fig. Tab. 2. Ref.: 10 items.

---

УДК 004.93

**Межполушарная асимметрия при опознании зрительных образов / Э.А. Золкина**

// **Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 94–100.**

Рассматриваются модель и компьютерная программа для исследования основных характеристик зрительного двумерных изображений. Представлены логико-формальные модели результатов исследований.

Библиогр.: 7 назв.

УДК 004.93

**Міжпівкульова асиметрія під час впізнання зорових образів / Е.А. Золкіна**

// **Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 94–100.**

Розглядаються модель і комп'ютерна програма для дослідження основних характеристик зорових двомірних зображень. Представлені логіко-формальні моделі результатів досліджень.

Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.93

**Semihemispherical asymmetry at an identification of visual images / E.A. Zolkina**

// **Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 94–100.**

The model and computer program for research of the basic characteristics of the visual two-dimensional images. The logical-formal models of results of researches are submitted.

Refs: 7 items.

---

УДК 519.711

**О построении фрагмента концептуальной классификационной модели проблемной области чрезвычайных ситуаций / Ю.Н. Оградина // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 101–106.**

Рассматривается процесс построения концептуальной классификационной модели техногенных чрезвычайных ситуаций на примере загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Для построения фрагмента модели проблемной области используется системологический классификационный анализ.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 14 назв.

УДК 519.711

**Про побудову фрагменту концептуальної класифікаційної моделі проблемної галузі надзвичайних ситуацій / Ю.М. Оградина // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 10–106**

Розглянуто процес побудови концептуальної класифікаційної моделі техногенних надзвичайних ситуацій на прикладі забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами. Для побудови фрагменту моделі проблемної галузі використовується системологічний класифікаційний аналіз.

Табл. 1. Ил. 2. Бібліогр.: 14 назв.

UDC 519.711

**About construction of a fragment conceptual classification model of problem area extraordinary situations / Y.M. Ogradina // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 101–106**

Process construction of conceptual classification model of technogenic extreme situations on an example of environmental contamination is considered by mineral oil. For construction of a fragment model of problem area it is used the systemological classification analysis.

1 Tab. 2 fig. Ref.: 14 items.

---

УДК 535.361.2

**Определение комплексного показателя преломления среды в процессах лазерной обработки биологических объектов / Н.Л.Лисиченко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 107–110.**

На основе системного подхода к анализу распространения низкоэнергетического лазерного излучения в биологических средах получены математические выражения для оценки условий его распространения на основе комплексного показателя преломления среды.

Табл. 0. Ил.2. Библиогр.: 10 назв.

УДК 535.361.2

**Визначення комплексного показника заломлення середовища в процесах лазерної обробки біологічних об'єктів / М.Л. Лисиченко // Проблеми біоники: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 107–110**

На основі системного підходу до аналізу розповсюдження низкоенергетичного лазерного випромінювання в біологічному середовищі отримані математичні вирази для оцінки умов його розповсюдження на основі комплексного показника заломлення середовища.

Табл. 0. Іл.2. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 535.361.2

**Finding the complex index of medium refraction in the processes of laser treatment of biological objects / N. Lisichenko // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 107–110.**

Using the systematic approach to the analysis of propagation of low-power laser radiation in biological media, mathematical expressions to evaluate conditions of its propagation based on the medium refraction complex index.

0 tab. 2 fig. Ref.: 10 items.

---

УДК 519.688 + 519.683.7

**Классификация образов организационных систем / С.И. Маторин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 111–117.**

Обосновывается выбор теории паттернов для формализации системологического моделирования. Рассматривается вариант классификации образов организационных систем как инструмент их контекстного представления.

Ил.2. Табл.3. Библиогр.: 14 назв.

УДК 519.688 + 519.683.7

**Класифікація образів організаційних систем / С.І. Маторін // Проблеми біоники: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 111–117.**

Обґрунтовується вибір теорії паттернів для формалізації системологічного моделювання. Розглядається варіант класифікації образів організаційних систем як інструмент їх контекстного представлення.

Іл.2. Табл.3. Бібліогр.: 14 назв.

UDC 519.688 + 519.683.7

**Shapes classification of organisational systems / S.I. Matorin // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 111–117.**

The selection of pattern theory for formalisation of systemological modelling are justified. Variant of shapes classification of organisational systems as tool of their context presentation are considered.

Fig.2. Tab.3. Ref.: 14 items.

---

УДК 681.322

**Принципы построения электронных учебников по техническим дисциплинам**

/ А.С. Шкиль, А.Б. Севастьянов, К.А. Васильев // *Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* 2002. Вып. 56. С. 118–123.

Рассматриваются вопросы построения электронных гипертекстовых учебников по техническим дисциплинам высшей школы. Изложены общая информационная структура электронного учебника и принципы структурирования учебного материала и файловая структура гипертекстового шаблона. Рассмотрены примеры построения информационных и тестовых страниц гипертекстового учебника.

УДК 681.322

**Принципи створення електронних підручників за технічними дисциплінами / О.С. Кіль,**

**А.Б. Севаст'янов, К.О. Васил'єв // Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 118–123.**

Розглянуті питання що до побудови електронних гіпертекстових підручників з технічних дисциплін вищої школи. Викладена загальна інформаційна структура електронного підручника та підходи до структурування навчального матеріалу і формування файлової структури гіпертекстового шаблону. Розглянуті приклади будовання інформаційних та тестових сторінок гіпертекстового підручника.

UDC 681.322

**Principles of build-up of electron tutorials on engineering disciplines / A.S. Shkil, A.B. Sevactyanov, K.A. Vasilyev // Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 118–123.**

The problem of building interactive tutorials for universities is considered. The whole information structure and principles of learning material structure, and file structure of hypertext pattern are stated. Examples of building information and text pages of hypertext tutorials are considered.

---

УДК 681.322

**Психологические основы построения обучающих систем / Н.В. Белоус, И.Ю. Шубин, А.П. Выродов // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2002. Вып. 56. С. 124–131.**

В статье изложены психологические основы построения компьютерных обучающих систем. Приведены основные положения используемых теорий обучения. Проанализированы психологические аспекты учебного процесса. Предложен сценарный подход к разработке компьютерных обучающих систем на основе комбинации нескольких теорий обучения. Даны рекомендации по составлению сценариев обучающих систем.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

УДК 681.322

**Психологічні основи побудови навчаючих систем / Н.В. Білоус, І.Ю. Шубін, О.П. Виродов**

**// Проблеми біоніки: Всеукр. між від. наук.-техн. зб. Вип. 56. С. 124–131.**

У статті викладені психологічні основи побудови комп'ютерних навчаючих систем. Наведені основні положення використовуваних теорій навчання. Проаналізовано психологічні аспекти навчального процесу. Запропоновано сценарний підхід до розробки комп'ютерних навчаючих систем на основі комбінації декількох теорій навчання. Наведені рекомендації зі складання сценаріїв навчаючих систем.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

UDC 681.322

**The psychological basis of learning system creation / N.V. Belous, I.Y. Shubin, O.P. Vyrodov**

**// Problems of Bioniks: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2002. № 56. P. 124–131.**

The psychological bases of computer based learning system creation are given in the article. The basic concepts of used learning theories are given. The paper outlines some of the environmental pedagogical dimensions. It is proposed a scenario-based approach to construction of computer learning systems with use of learning theories set. The recommendations of writing a scenario of computer learning systems are made.

1 tab. 1 fig. Ref.: 8 items.