

007.57  
1778

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ имени М. К. ЯНГЕЛЯ

# ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

ВЫПУСК 33

Республиканский  
межведомственный  
научно-технический  
сборник

Основан в 1968 г.

32



2001

ХАРЬКОВ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
«ВИЩА ШКОЛА»

1984

УДК 62.506.2

**Проблемы бионики:** Респ. междувед. науч.-техн. сб. Вып. 33. — Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984.— 137 с.

В сборнике рассмотрены вопросы математического и физического моделирования процессов интеллектуальной деятельности человека, проблемы синтаксиса и семантики словообразования, обмена информации с ЭВМ на естественном языке. Построены математические модели некоторых сенсорных систем при обработке текстовой информации, зрительных образов и речевых сигналов. Описаны алгоритмы автоматической классификации сложных объектов распознавания и нормализации полутоновых изображений.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1984 г.  
Для научных работников и специалистов.

*Редакционная коллегия:* Ю. П. Шабанов-Кушнаренко (отв. ред.), М. Ф. Бондаренко (зам. отв. ред.), Г. Г. Четвериков (отв. секр.), Н. М. Амосов, А. А. Волков, В. А. Грабина, А. В. Дабагян, К. А. Иванов-Муромский, В. А. Ловицкий, А. Ф. Осыка, Е. П. Путятин, И. Б. Сироджа, В. Я. Сердюченко, В. Г. Червов

*Адрес редакционной коллегии:* 310218, Харьков, пр. Ленина, 14, институт радиоэлектроники, тел. 40-93-66

Редакция естественнонаучной литературы

## ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Выпуск 33

Редактор *А. П. Гужва*, художественный редактор *Т. П. Воробийенко*, технический редактор *Г. П. Александрова*, корректор *Л. А. Марченко*

ИБ № 8343

Сдано в набор 14.10.83. Подп. в печать 17.04.84. БЦ 09135. Формат 60×90/16. Бумага кн.-журн. Лит. гарн. Выс. печать, 8,5 печ. л. 8,75 кр.-отт. 10 уч.-изд. л. Тираж 700 экз. Изд. № 1218. Зак. № 1589. Цена 1 р. 40 к.

Издательство при Харьковском государственном университете издательского объединения «Вища школа», 310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16

Харьковская городская типография № 16. 310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16

П 1502000000-044 465-84 (подписное)  
M226(04)-84

© Издательское  
объединение  
«Вища школа», 1984

Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО, д-р техн. наук

## СТАНДАРТНЫЕ ФОРМЫ В КОНЕЧНОЙ АЛГЕБРЕ

В работе [1] была введена конечная алгебра, являющаяся обобщением алгебры конечных предикатов [2]. В алгебре конечных предикатов справедлива теорема о разложении [3] с совершенными дизъюнктивными [4] и конъюнктивными [5] нормальными формами. В этой статье для конечной алгебры формулируется теорема о разложении, вводятся стандартные формы — СДНФ и СКНФ и полная система тождеств. В конечной алгебре, как и в алгебре конечных предикатов, справедлива теорема о разложении в двух вариантах — дизъюнктивном и конъюнктивном.

**Теорема о дизъюнктивном разложении.** Любой конечный предикат  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$  можно представить так:

$$\begin{aligned} f(x_{11}, \dots, x_{1l_1}, x_{1l_1+1}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nl_n}, \dots, x_{nl_n+1}, \dots, x_{nm_n}) = \\ = \bigvee_{\sigma_{11} \in M_{11}} \dots \bigvee_{\sigma_{1l_1} \in M_{1l_1}} \dots \bigvee_{\sigma_{nf} \in M_{nf}} \dots \bigvee_{\sigma_{nl} \in M_{nl}} x_{11}^{\sigma_{11}} \dots x_{1l_1}^{\sigma_{1l_1}} \dots x_{n1}^{\sigma_{n1}} \dots x_{nl_n}^{\sigma_{nl}} \wedge \\ \wedge f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1l_1}, x_{1l_1+1}, \dots, x_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nl_n}, x_{nl_n+1}, \dots, x_{nm_n}). \quad (1) \end{aligned}$$

Здесь символы вида  $\bigvee_{\sigma \in M}$  означают, что ведется логическое суммирование по всем  $\sigma \in M$ . Доказательство теоремы о дизъюнктивном разложении не приводим, поскольку оно аналогично доказательству одноименной теоремы в алгебре конечных предикатов [3]. Из теоремы о дизъюнктивном разложении вытекают следующие два следствия.

1. Любой конечный предикат  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nm_n})$  может быть представлен в виде

$$\begin{aligned} f(x_{11}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nm_n}) = x_{ij}^{a_{ij}} f(x_{11}, \dots, a_{ij1}, \dots, x_{nm_n}) \vee x_{ij}^{a_{ij}'} f(x_{11}, \\ \dots, a_{ij2}, \dots, x_{nm_n}) \vee \dots \vee x_{ij}^{a_{ij}^k} f(x_{11}, \dots, a_{ij k_{ij}}, \dots, x_{nm_n}). \quad (2) \end{aligned}$$

2. Любой конечный предикат  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$  может быть представлен в виде

$$\begin{aligned} f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n}) = \bigvee_{f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nm_n})=1} x_{11}^{\sigma_{11}} \dots x_{1m_1}^{\sigma_{1m_1}} \dots \\ \dots x_{n1}^{\sigma_{n1}} \dots x_{nm_n}^{\sigma_{nm_n}}. \quad (3) \end{aligned}$$

Тождество (2) получаем из (1), производя разложение только по одной переменной  $x_{ij}$ . Тождество (3) получаем, производя разложение предиката  $f$  сразу по всем переменным. Запись  $f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nm_n})$  под знаком логической суммы в выражении (3) означает, что логическое суммирование ведется только по тем наборам  $(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nm_n})$ , которые обращают предикат  $f$  в 1. Формулу, стоящую в правой части тождества (3), назовем совершенной дизъюнктивной нормальной формой предиката  $f$ . Если предикат  $f$  — тождественно ложный, то, согласно теореме о дизъюнктивном разложении, в правой части тождества (3) нужно ставить 0. Из второго следствия теоремы о дизъюнктивном разложении вытекает полнота конечной алгебры: любой конечный предикат  $n$ -го порядка можно записать в виде формулы конечной алгебры.

Пусть  $A, B, C$  — произвольные формулы конечной алгебры. В конечной алгебре справедливы следующие тождества:

законы коммутативности  $A \vee B = B \vee A$  (4),  $AB = BA$  (5);

законы ассоциативности  $(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$  (6),  $(AB)C = A(BC)$  (7);

законы дистрибутивности  $(A \vee B)C = AC \vee BC$  (8),  $AB \vee C = (A \vee C)(B \vee C)$  (9);

законы идемпотентности  $A \vee A = A$  (10),  $AA = A$  (11);

законы элиминации  $A \vee AB = A$  (12),  $A(A \vee B) = A$  (13).

Названия для приведенных тождеств позаимствованы из алгебры логики, где рассматриваются совпадающие с ними по форме законы. Однако в алгебре логики формулы обозначают не конечные предикаты  $n$ -го порядка, а булевы функции. Справедливость тождеств легко проверяется перебором всевозможных вариантов значений предикатов  $A, B, C$ .

Справедлив, кроме того, ряд тождеств, в которых участвуют логические константы:  $A \vee 1 = 1$  (14);  $A \cdot 0 = 0$  (15);  $A \cdot 1 = A$  (16);  $A \vee 0 = A$  (17).

Пусть  $x_{ij}$  —  $j$ -я по счету переменная  $i$ -го порядка и  $a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijk_{ij}}$  — ее возможные значения. Имеет место следующее

тождество:

$$x_{ij}^{a_{ij1}} \vee x_{ij}^{a_{ij2}} \vee x_{ij}^{a_{ij3}} \vee \dots \vee x_{ij}^{a_{ijk_{ij}}} = 1, \quad (18)$$

которое мы назовем законом истинности  $i$ -го порядка для  $j$ -й переменной. Действительно, какой бы предикат  $i$ -го порядка мы ни подставили вместо переменной  $x_{ij}$  из области ее определения  $M_{ij} = \{a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijk_{ij}}\}$ , всегда один из дизъюнктивных членов, а вместе с ним и вся дизъюнкция, обращается в 1.

Пусть  $\sigma_{ij1}$  и  $\sigma_{ij2}$  — произвольные, но отличающиеся друг от друга ( $\sigma_{ij1} \neq \sigma_{ij2}$ ) предикаты  $i$ -го порядка, взятые из области  $M_{ij}$ . Имеет место следующее тождество:  $x_{ij}^{\sigma_{ij1}} x_{ij}^{\sigma_{ij2}} = 0$  (19), которое мы назовем законом ложности  $i$ -го порядка для  $j$ -й переменной. Действительно, какой бы предикат  $i$ -го порядка

из множества  $M_{ij}$  мы не подставили вместо  $x_{ij}$  в левую часть равенства (19), всегда хотя бы один из конъюнктивных членов обратится в 0, а вместе с ним обратится в 0 и вся левая часть равенства (19).

С абстрактной точки зрения введенная нами конечная алгебра есть дистрибутивная решетка с нулем и единицей. А именно— это множество всех предикатов  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$ , заданных на множестве  $M_{11} \times \dots \times M_{1m_1} \times \dots \times M_{n1} \times \dots \times M_{nm_n}$ , с определенными на нем бинарными операциями дизъюнкции и конъюнкции, для которых выполняются аксиомы (4)—(17) дистрибутивной решетки с нулем и единицей. Роль нуля в конечной алгебре выполняет тождественно ложный предикат, роль единицы — тождественно истинный предикат  $n$ -го порядка. В конечной алгебре сверх этого выполняются еще тождества (18) и (19). Как будет показано ниже, наличие этих тождеств позволяет ввести в конечной алгебре третью, унарную, операцию — отрицание и рассматривать эту алгебру как булеву.

Интересно выяснить вопрос, полна ли система тождеств, введенных нами выше в конечной алгебре. Иными словами, можно ли с помощью этих тождеств доказать тождественность любых двух формул конечной алгебры, обозначающих один и тот же предикат? Мы докажем, что система тождеств (4) ÷ (19) в указанном смысле полна. Эта система тождеств разбивает все множество формул конечной алгебры на классы эквивалентности таким образом, что каждому из этих классов может быть взаимно однозначно сопоставлен свой конечный предикат  $n$ -го порядка. Оказывается, что произвольную формулу конечной алгебры можно преобразовать с помощью тождеств (4) ÷ (19) к СДНФ. Сравнивая же между собой СДНФ двух формул, всегда можно (в силу единственности представления любого конечного предиката  $n$ -го порядка в виде СДНФ) решить вопрос о тождестве этих формул. Если СДНФ совпадают, то исходные формулы тождественны, если не совпадают, то они соответствуют различным предикатам. Ниже приводится описание алгоритма преобразования произвольной формулы конечной алгебры к СДНФ.

1) Пользуясь тождествами (5), (7) и (8), раскрываем в формуле все скобки. В результате получаем некоторую дизъюнкцию конъюнкций узнаваний предикатов.

2) Пользуясь тождествами (4) ÷ (7), (10), (11), (15), (17) и (19), производим упрощения в формуле. В результате получаем некоторую дизъюнктивную нормальную форму. Дизъюнктивной нормальной формой мы называем любую дизъюнкцию произвольного числа различных элементарных конъюнкций. Элементарной конъюнкцией назовем любую конъюнкцию узнаваний различных предикатных переменных, взятых с произвольными фик-

сированными показателями. В конъюнкцию могут входить узнавания предикатов различного порядка.

3) Пользуясь тождествами (16) и (18), во все конъюнкции вводим недостающие переменные.

4) Пользуясь тождествами (4)—(8) и (10), снова раскрываем скобки и производим упрощения. В результате получаем искомую СДНФ.

Введем в конечной алгебре операцию отрицания. Отрицанием конечного предиката  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$  назовем предикат  $g(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n}) = \bar{f}(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$ , принимающий значение 0 для всех тех наборов значений аргументов  $(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$ , при которых  $f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n}) = 1$ , и принимающий значение 1 для всех наборов значений аргументов, при которых  $f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n}) = 0$ .

В случае  $k_{ij} \geq 2 (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m_n)$  можно определить операцию отрицания аксиоматически, задав ее следующими тождествами:  $\overline{A \vee B} = \overline{A} \overline{B}$  (20);  $\overline{AB} = \overline{A} \vee \overline{B}$  (21);

$$x_{ij}^{a_{ijt}} = x_{ij}^{a_{ij1}} \vee x_{ij}^{a_{ij2}} \vee \dots \vee x_{ij}^{a_{ijt}-1} \vee x_{ij}^{a_{ijt}+1} \vee \dots \vee x_{ij}^{a_{ijk_{ij}}}. \quad (22)$$

Здесь  $A$  и  $B$  — произвольные формулы конечной алгебры;  $x_{ij}$  —  $j$ -я по счету переменная  $i$ -го порядка;  $a_{ijt}$  — произвольный предикат  $i$ -го порядка из множества  $M_{ij}$ ; индекс  $t$  принимает значения от 1 до  $k_{ij}$ . Тождества (20) и (21) совпадают по форме с известными в алгебре логики законами де Моргана, которые, однако, применяются теперь не к булевым переменным, а к переменным предикатам  $n$ -го порядка. Тождества (22) назовем законами отрицания. Заметим, что при  $k_{ij} = 1$  законы отрицания теряют смысл, в этом случае  $x_{ij}^{a_{ij1}} = 0$ .

Любая формула с отрицаниями может быть преобразована с помощью зависимостей (20)—(22) в тождественную ей формулу без отрицаний. Действительно, применяя многократно законы де Моргана, мы всегда сможем все знаки отрицания, стоящие над формулой или ее частями, опустить непосредственно на узнавания предикатов или на 0 и 1. Затем, пользуясь тождеством (22) и тождествами  $0 = \overline{1}$ ,  $\overline{0} = 1$ , и вовсе исключаем отрицания из формулы. С помощью тождеств (20)—(22), совместно с перечисленными выше основными тождествами конечной алгебры (4)—(19), можно решить вопрос о тождественности двух любых формул со знаками отрицания. Для этого сначала исключаем из формул знаки отрицания, а затем приводим формулы к СДНФ. Отсюда следует, что система тождеств (20)—(22) полна, она совместно с тождествами (4)—(19) аксиоматически определяет все свойства операции отрицания.

В ряде случаев процесс исключения знаков отрицания из формул существенно упрощается, если использовать следующие тождества:

$$x_{ij}^{\sigma_{ij}} x_{ij}^{\sigma_{ij}} = x_{ij}^{\sigma_{ij}} \quad (23); \quad x_{ij}^{\sigma_{ij}} (x_{ij}^{\sigma_{ij}} \vee A) = x_{ij}^{\sigma_{ij}} \quad (24).$$

Тождества справедливы при условии, что  $\sigma_{ijs} \neq \sigma_{ijt}$ . Предикаты  $\sigma_{ijs}$  и  $\sigma_{ijt}$  взяты из множества  $M_{ij}$ . Буквой  $A$  обозначена произвольная формула конечной алгебры порядка не ниже  $i+1$ . Тождество (23) назовем законом поглощения отрицания, тождество (24) — обобщенным законом поглощения отрицания.

Для операции отрицания предиката  $n$ -го порядка также справедливы тождества: закон двойного отрицания  $\overline{\overline{A}} = A$  (25); закон исключенного третьего  $A \vee \overline{A} = 1$  (26); закон противоречия  $A \overline{A} = 0$  (27).

Итак, видим, что в конечной алгебре, наряду с операциями дизъюнкции и конъюнкции, существует операция отрицания со всеми свойствами, которыми наделяет ее булева алгебра.

Поэтому конечную алгебру можно рассматривать как разновидность булевой алгебры. Основным множеством в ней служит система всех конечных предикатов  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$ , заданных на множестве  $M_{11} \times \dots \times M_{1m_1} \times \dots \times M_{n1} \times \dots \times M_{nm_n}$ .

Роль нуля выполняет тождественно ложный предикат, роль единицы — тождественно истинный предикат, в роли базисных операций выступают дизъюнкция, конъюнкция и отрицание. Заметим, что введение операции отрицания в конечной алгебре не расширяет ее выразительных возможностей. Конечная алгебра полна и без операции отрицания. Таким образом, введением операции отрицания достигается лишь консервативное расширение конечной алгебры.

**Сформулируем теорему о конъюнктивном разложении.** Любой конечный предикат  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{1m}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$  может быть представлен в виде

$$f(x_{11}, \dots, x_{1l_1}, x_{1l_1+1}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nl_n}, x_{nl_n+1}, \dots, x_{nm_n}) = \bigwedge_{\sigma_{11} \in M_{11}} \dots \bigwedge_{\sigma_{1l_1} \in M_{1l_1}} \dots \bigwedge_{\sigma_{n1} \in M_{n1}} \dots \bigwedge_{\sigma_{nl_n} \in M_{nl_n}} (x_{11}^{\sigma_{11}} \vee \dots \vee x_{1l_1}^{\sigma_{1l_1}} \vee \dots \vee x_{n1}^{\sigma_{n1}} \vee \dots \vee x_{nl_n}^{\sigma_{nl_n}}) \vee f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1l_1}, x_{1l_1+1}, \dots, x_{1m}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nl_n}, x_{nl_n+1}, \dots, x_{nm_n}). \quad (28)$$

Здесь символы  $\bigwedge_{\sigma \in M}$  означают, что ведется логическое перемножение по всем  $\sigma \in M$ . Из теоремы о конъюнктивном разложении вытекают следующие два следствия.

1. Любой конечный предикат  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nm_n})$  может быть представлен в виде

$$f(x_{11}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nm_n}) = (\overline{x_{ij1}} \vee f(x_{11}, \dots, a_{ij1}, \dots, x_{nm_n})) \wedge (\overline{x_{ij2}} \vee \vee f(x_{11}, \dots, a_{ij2}, \dots, x_{nm_n})) \dots (x_{ij k_{ij}} \vee f(x_{11}, \dots, a_{ij k_{ij}}, \dots, x_{nm_n})). \quad (29)$$

2. Любой конечный предикат  $n$ -го порядка  $f(x_{11}, \dots, x_{1m}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n})$  может быть представлен в виде

$$f(x_{11}, \dots, x_{1m}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n}) = \bigwedge_{f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nm_n})=0} (\overline{x_{11}^{\sigma_{11}}} \vee \dots \vee \overline{x_{1m_1}^{\sigma_{1m_1}}} \vee \dots \vee \overline{x_{n1}^{\sigma_{n1}}} \wedge \dots \wedge \overline{x_{nm_n}^{\sigma_{nm_n}}}). \quad (30)$$

Тождество (29) получаем из (28), производя разложение предиката  $f$  только по одной переменной  $x_{ij}$ , тождество (30) получаем разложением предиката  $f$  сразу по всем переменным. Запись  $f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nm_n}) = 0$  под знаком логического произведения в выражении (30) означает, что логическое перемножение ведется только по тем наборам  $(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nm_n})$ , которые обращают предикат  $f$  в 0. Представление предиката  $f$  в виде формулы, получаемой в результате исключения из правой части тождества (30) знаков отрицания с помощью законов отрицания, назовем совершенной конъюнктивной нормальной формой предиката  $f$ .

Используя операцию импликации предикатов  $n$ -го порядка  $A \supset B = \overline{A} \vee B$  (31), тождество (28) можно записать без знаков отрицания:

$$f(x_{11}, \dots, x_{1l_1}, x_{1l_1+1}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nl_n}, x_{nl_n+1}, \dots, x_{nm_n}) = \bigwedge_{\sigma_{11} \in M_{11}} \dots \bigwedge_{\sigma_{1l_1} \in M_{1l_1}} \dots \bigwedge_{\sigma_{n1} \in M_{n1}} \dots \bigwedge_{\sigma_{nl_n} \in M_{nl_n}} (x_{11}^{\sigma_{11}} \dots x_{1l_1}^{\sigma_{1l_1}} \dots x_{n1}^{\sigma_{n1}} \dots x_{nl_n}^{\sigma_{nl_n}} \supset f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1l_1}, \dots, x_{1l_1}, \dots, x_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nl_n}, x_{nl_n+1}, \dots, x_{nm_n})). \quad (32)$$

В соответствии с этим первое и второе следствия теоремы о конъюнктивном разложении запишутся в виде

$$f(x_{11}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nm_n}) = (x_{ij1}^a \supset f(x_{11}, \dots, a_{ij1}, \dots, x_{nm_n})) (x_{ij2}^a \supset f(x_{11}, \dots, a_{ij2}, \dots, x_{nm_n})) \dots (x_{ij k_{ij}}^a \supset f(x_{11}, \dots, a_{ij k_{ij}}, \dots, x_{nm_n})). \quad (33)$$

$$f(x_{11}, \dots, x_{1m_1}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nm_n}) = \bigwedge_{f(\sigma_{11}, \dots, \sigma_{1m_1}, \dots, \sigma_{n1}, \dots, \sigma_{nm_n})=0} (x_{11}^{\sigma_{11}} \dots x_{1m_1}^{\sigma_{1m_1}} \dots x_{n1}^{\sigma_{n1}} \dots x_{nm_n}^{\sigma_{nm_n}} \supset 0). \quad (34)$$

Последнее тождество показывает, что любой конечный предикат может быть представлен в виде суперпозиции операций конъюнкции и импликации, действующих на всевозможные узнавания предикатов различных порядков и на тождественно ложный предикат 0. Вместе с тем, при  $k_{ij} \geq 2$  предикат 0 можно выразить в виде конъюнкции некоторых узнаваний предикатов, например следующим образом:

$$x_{ij}^a x_{ij}^a = 0.$$

В результате мы приходим к еще одной конечной алгебре. Ее базис составляют операции конъюнкции и импликации и всевозможные узнавания предикатов различных порядков вплоть до  $n$ -го. Чтобы иметь возможность различать обе введенные алгебры друг от друга, первую назовем дизъюнктивной конечной алгеброй, а вторую — импликативной. Кроме двух найденных, существует множество других конечных алгебр. В частности, любой набор операций, удовлетворяющий условиям теоремы Поста, вместе со всевозможными узнаваниями букв можно принять в качестве базиса полной конечной алгебры. В роли полной системы элементарных операций также подходит любая система операций, через которые выражаются операции конъюнкции и дизъюнкции или операции конъюнкции и импликации. По-видимому, существуют и другие базисы, задающие конечные алгебры. Еще предстоит сформулировать критерий полноты для алгебр конечных предикатов.

Дизъюнктивная алгебра представляется нам весьма удобным языком для записи конечных предикатов  $n$ -го порядка. Ее удобство состоит в том, что на языке дизъюнктивной алгебры кратко и изящно записываются законы истинности и ложности. Эти законы в конечной алгебре играют особую роль. По существу они представляют собой требования, выполнение которых необходимо и достаточно для корректного введения переменных на конечных множествах. Закон истинности задает область изменения переменной, законы ложности обеспечивают попарное различие всех элементов множества, на котором задана переменная. В любой другой алгебре законы истинности и ложности будут записываться в виде гораздо более громоздких выражений. Дизъюнктивную алгебру будем называть просто конечной алгеброй.

**Список литературы:** 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об алгебре конечных предикатов произвольного порядка. — АСУ и приборы автоматики, 1983, вып. 67, с. 9—13. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О теории интеллекта. — Проблемы бионики, 1979, вып. 22, с. 3—11. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об алгебре конечных предикатов. — АСУ и приборы автоматики, 1979, вып. 50, с. 14—20. 4. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об универсальной алгебре

конечных предикатов. — АСУ и приборы автоматики, 1980, вып. 55, с. 69—74.  
5. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об алгебре предикатов с отрицанием. — АСУ и приборы автоматики, 1979, вып. 50, с. 21—28.

Поступила в реколлексию 07.12.81.

УДК 510.62

М. Ф. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, О. В. ЛАЗАРЕНКО

### О ФОРМАЛЬНОМ ОПИСАНИИ ПРЕФИКСАЛЬНОГО ПОЛЯ

Характерной особенностью русского префиксального словообразования является наличие нескольких префиксов в одном слове. Цепочки, как правило, содержат не более трех приставок. Сначала приставка присоединяется непосредственно к корню слова (внести), затем — к корню с одной приставкой (привнести) и далее — с двумя (непривносимый). Анализ производных с двумя и более префиксами показал, что наиболее часты двухприставочные цепочки (безвыходный, воссоединение, изукрасить, неразрывный, предусмотреть — всего около 250 цепочек), число трехприставочных цепочек сравнительно невелико (несоизмеримый, перераспределение — всего около 50), слова с большим числом приставок словари не приводят, хотя четырехприставочные окказионализмы возможны. Мы же будем рассматривать префиксальные цепочки, содержащие не более трех приставок.

Таким образом, в префиксальных производных можно выделить префиксальное поле фиксированной длины. Закрепив за каждой буквой приставки определенное место в соответствии со слоговой структурой «согласная — гласная», получаем 20-рядное поле. Это поле разбивается на три части по числу приставок в цепочке максимальной длины. Каждая часть, в свою очередь, разбивается на двубуквенные сегменты. Первые две части состоят из четырех сегментов, а третья — из двух сегментов. Это объясняется тем, что длина приставки, стоящей на третьем месте в префиксальной цепочке, не превышает четырех букв. Префиксальное поле можно представить в виде таблицы.

Выделение сегментов в префиксальном поле позволяет единым образом описать все чередования и беглости в приставках. Так, чередование *ъ/о/* всегда происходит во втором разряде сегмента, а чередование *з/с* — в первом разряде второго сегмента (за исключением одной приставки *через-* (чрез-), где чередование происходит в первом разряде третьего сегмента) и т. д. Префиксальное поле строилось следующим образом. Сначала в него были вписаны все трехприставочные цепочки, причем повторяющиеся на одном и том же месте приставки не записывались дважды (например, для цепочек *непревз(ыденный)* и *непрео(боримый)* один раз записывалось *непре-*, а в третьей части поля записывались приставки *вз(о)-* и *о-*). Затем в первой части поля записали все недостающие до полного списка приставки.

$P_{111}$	$P_{112}$	$P_{121}$	$P_{122}$	$P_{131}$	$P_{132}$	$P_{141}$	$P_{142}$	$P_{211}$	$P_{212}$	$P_{221}$	$P_{222}$	$P_{231}$	$P_{232}$	$P_{241}$	$P_{242}$	$P_{311}$	$P_{312}$	$P_{321}$	$P_{322}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
п	—	р	о	т	и	в	о	п	—	р	о	т	и	в	о	п	—	р	е
в	—	н	у	т	—	р	и	п	—	р	е	д	ъ/о/—			п	—	р	и
с	—	в	е	р	—	х	ъ/—	п	—	р	е					п	—	р	о
с	—	р	е	д	и			п	—	р	о					п	о	д	ъ/о/—
м	е	ж	ъ/—	д	у			п	—	р	и					р	а	з/с	ъ/о/—
п	о	с	—	л	е			п	е	р	е					в	о	з/с	ъ/о/—
—	о	к	о	л	о			н	а	д	ъ/о/—					—	и/ы	з/с	ъ/о/—
ч	е/—	р	е	з/с	ъ/—			—	о	т	ъ/о/—					—	о	б	ъ/о/—
б	е	з/с	ъ/—	—				б	е	з/с	ъ/—					д	о		
р	о/а	з/с	ъ/о/—	—				р	а	з/с	ъ/о/—					в	ы		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
в	о	з/с	ъ/о/—	—				в	о	з/с	ъ/о/—					п	о		
в	—	з/с	ъ/о/—	—				—	и/ы	з/с	ъ/о/—					с	ъ/—/о		
—	и	з/с	ъ/о/—	—				д	о							в	ъ/о/—		
н	и	з/с	ъ/о/—	—				н	а							—	о		
п	е/—	р	е	д	ъ/о/—			з	а							—	у		
п	о	д	ъ/о/—	—				н	е										
н	а	д	ъ/о/—	—				в	ъ/о/—										
—	о	т	ъо	—				с	ъ/о/—										
—	о	б	ъ/о/—	—				—	о										
в	ъ/о/—	—	—	—				—	у										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
с	ъ/о/—	—	—	—															
п	е	р	е	—															
п	—	р	е	—															
п	—	р	о	—															
п	—	р	и	—															
п	—	р	а	—															
н	а	—	и	—															
в	ы																		
д	о																		
з	а																		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
я	а																		
п	а																		
п	о																		
с	у																		
я	е																		
—	о																		
—	у																		

Примечание. В приставках, структура которых не соответствует слоговой, соответствующие  $p_{nki}$  считаем равными пробелу («—»). Недостающие буквы также заменяем пробелами.

И на всем множестве были построены двупроставочные цепочки. Для этого во вторую часть поля были вписаны еще две приставки—противо- и над-, которые также встречаются на втором месте двупроставочных цепочек (непротиворечивый, безнадзорный).

Определив таким образом место каждой приставки в префиксальном поле и закрепив место каждой буквы в приставке, можно описать любую префиксальную цепочку, встречающуюся в русском языке.

Пусть  $X, Y, Z$  — соответственно первая, вторая и третья приставки в префиксальной цепочке. Введем предикат связи для двупроставочных цепочек:

$$\text{Сдв}(X, Y) =$$

{1, если сочетание  $XU$  возможно,

{0, если нет

и предикат связи для трехпроставочных цепочек:

$$\text{Стр}(X, Y, Z) = \text{Сдв}(X, Y) \text{Сдв}(Y, Z) =$$

{1, если сочетание  $XUZY$  возможно;

{0, если нет,

$X = x_1 x_2 \dots x_n$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — буквы, стоящие на 1, 2, ...,  $n$  местах приставки  $X$ . Аналогично  $Y = y_1 y_2 \dots y_m$ ,  $Z = z_1 z_2 \dots z_k$ .

Опишем для примера некоторые префиксальные цепочки. Так, приставка над- может присоединяться только к приставке пере- (надпереносье). Это правило запишем следующим образом:

$$\text{Сдв}(x_1^a x_2^a x_3^g x_4^a x_5^a x_6^a x_7^a x_8^a, y_1^a y_2^g y_3^g y_4^g y_5^a y_6^a y_7^a y_8^a) = 1.$$

А приставка вы- присоединяется только к приставке про- (выпроводить):

$$\text{Сдв}(x_1^a x_2^a x_3^a x_4^a x_5^a x_6^a x_7^a x_8^a, y_1^a y_2^a y_3^a y_4^a y_5^a y_6^a y_7^a y_8^a) = 1.$$

Вместе с тем приставка не- присоединяется к любой приставке, кроме не-:

$$\text{Сдв}(x_1^a x_2^a x_3^a x_4^a x_5^a x_6^a x_7^a x_8^a, y_1^a y_2^a y_3^a y_4^a y_5^a y_6^a y_7^a y_8^a) = 0$$

В трехпроставочных цепочках приставка внутри- может присоединяться к приставке про-, которая, в свою очередь, соединяется с приставкой из-:

$$\text{Сдв}(x_1^a x_2^a x_3^a x_4^a x_5^a x_6^a x_7^a x_8^a, y_1^a y_2^a y_3^a y_4^a y_5^a y_6^a y_7^a y_8^a),$$

$$\text{Сдв}(y_1^a y_2^a y_3^a y_4^a y_5^a y_6^a y_7^a y_8^a, z_1^a z_2^a z_3^a z_4^a z_5^a z_6^a z_7^a z_8^a) = 1.$$

Аналогичным образом описываются все комбинации приставок в префиксальном поле.

Список литературы: 1. *Русская грамматика*. — М.: Наука, 1980. — Т. 1. 874 с. 2. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* О теории интеллекта. — *Проблемы бнионики*, 1979, вып. 23, с. 6—10.

Поступила в редколлегию 25.12.81.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АКЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУССКОГО ЯЗЫКА

Перспективным направлением совершенствования техники синтеза речи, а также методов фонетического анализа в системах автоматического понимания речевых сообщений является широкое использование лингвистической информации, относящейся к закономерностям фонетической организации высказывания, характерным для данного языка. Применение сведений о языке системы в процессе распознавания речи дает возможность скорректировать ошибки и устранить неопределенности, неизбежно возникающие при автоматическом распознавании входного акустического сигнала. В процессе формирования речевого сообщения фонемы получают конкретные акустические характеристики, соответствующие синтаксической и семантической структуре предложения, местоположению ударения, границам слов и фонемному окружению. В связи с этим необходимо полное, однозначное и эксплицитное описание характеристик звуков речи, правил произношения, характерных для данного языка, закономерностей следования фонем, мелодических и акцентных характеристик, которое предназначено для кибернетических машин и сделает доступным для них свойственные человеку операции по обработке речевых сообщений.

В настоящей работе исследуются акцентологические нормы в области образования форм слов русского языка и строится их действующая математическая модель с применением средств теории интеллекта [1, 2].

Можно предположить, что связь между значением условного ударения  $X$ , акцентной характеристикой слова  $Y$  и набором грамматических признаков  $Z$  может быть описана в виде тернарного отношения  $F(X, Y, Z)$ . Акцентуационное отношение, как и всякое другое, целиком и полностью определяется своей характеристической функцией  $F(X, Y, Z)$ , которая задается следующим образом:

$$F(X, Y, Z) = \begin{cases} 1, & \text{если } F(X, Y, Z) \text{ выполняется,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

т. е. если грамматические признаки  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ , акцентная характеристика  $Y$  и значение условного ударения  $X$  согласуются в соответствии с нормами языка, то предикат  $F(X, Y, Z)$  принимает значение 1, в противном случае — 0. Таким образом, задача заключается в разработке способа задания и определения вида функции  $F(X, Y, Z)$  для склоняемых и спрягаемых слов современного русского литературного языка.

При образовании форм одного и того же слова ударение может перемещаться с одного слога на другой, с одной морфемы на другую, например: *дѣло, делá, вѣрчу, вертя́т*. Эта особенность называется подвижностью словесного ударения. Подвижное ударение служит дополнительным средством, которое сопровождает основное средство образования грамматических форм — аффиксацию. При построении главной акцентуационной характеристики парадигм вводится особый акцентуационный признак отдельной словоформы — условное ударение. Для его обозначения введем переменную  $x$ . В отличие от ударения в обычном смысле слова условное ударение не приписывается какой-либо определенной букве или определенному слогу словоформы; оно считается принадлежащим морфологическому компоненту (основе или флексии в целом) и поэтому переменная  $x$  может принимать два значения:  $n$  — условное ударение на основе (неконечное) и  $k$  — условное ударение на флексии (конечное). Формы слов с разным морфемным составом объединяются по признаку наличия в них неконечного или конечного ударения. Для изменяемых слов основной единицей классификации по ударению является акцентный тип. Акцентный тип — это общая схема размещения ударения в словоформах определенного множества слов, относящихся к данной части речи. Распределение русских имен (в особенности существительных) по акцентным типам подчиняется определенным закономерностям, однако в некоторых случаях обнаружить какую-либо закономерность не удастся и приходится прибегать к составлению списков.

Введем переменную  $y$ , представляющую акцентный тип слова. Областью определения переменной будем считать множество чисел  $\{1, 2, \dots, t\}$ , где  $t$  — общее число схем ударения. Имеет место соотношение  $y^1 \vee y^2 \vee \dots \vee y^{18} = 1$  (2). Для математического описания правил, приписывающих каждой первичной словоформе одно из двух значений признака условного ударения, необходимо ввести следующие переменные:  $z_1$  — часть речи со значениями  $s$  — существительное,  $g$  — глагол,  $p$  — прилагательное,  $ch$  — числительное,  $n$  — неизменяемая часть речи;  $z_2$  — тип склонения существительных со значениями  $a$  — адъективное,  $c$  — субстантивное;  $z_3$  — признак одушевленности существительных со значениями  $o$  — одушевл.,  $n$  — неодушевл.;  $z_4$  — форма прилагательных со значениями  $p$  — полная,  $k$  — краткая. Через  $z_i (i=5, 10)$  обозначим переменные, характеризующие словоизменяемые категории, где  $z_5$  — число со значениями  $e$  — ед.,  $m$  — мн.;  $z_6$  — падеж со значениями  $i$  — им.,  $p$  — родит.,  $d$  — дат.,  $v$  — вин.,  $t$  — творит.,  $p$  — предл.;  $z_7$  — наклонение глаголов со значениями  $i$  — изъявит.,  $p$  — повелит.,  $c$  — сослагат.;  $z_8$  — время со значениями  $n$  — наст.,  $p$  — прош.,  $b$  — буд.;  $z_9$  — род со значениями  $m$  — муж.,  $zh$  — жен.,  $c$  — ср.;  $z_{10}$  — лицо со значениями 1 — первое, 2 — второе, 3 — третье. Значения переменных

введены в соответствии с грамматикой русского языка [3]. Для рассматриваемых переменных справедливы уравнения

$$z_1^c \vee z_1^r \vee z_1^n \vee z_1^t \vee z_1^- \quad (3); \quad z_2^a \vee z_2^c \quad (4); \quad z_3^o \vee z_3^h \quad (5); \quad z_4^n \vee z_4^k \quad (6); \\ z_5^c \vee z_5^m \quad (7); \quad z_6^h \vee z_6^p \vee z_6^a \vee z_6^t \vee z_6^b \quad (8); \quad z_7^h \vee z_7^n \vee z_7^c \quad (9); \quad z_8^h \vee z_8^n \vee \\ \vee z_8^o \quad (10); \quad z_9^m \vee z_9^k \vee z_9^c \quad (11); \quad z_{10}^1 \vee z_{10}^2 \vee z_{10}^3 \quad (12).$$

Сочетаемость значений введенных переменных для существительных опишем уравнением

$$z_1^c \supset (z_2^a \vee z_2^c)(z_3^o \vee z_3^h)(z_5^c \vee z_5^m)(z_6^h \vee z_6^p \vee z_6^a \vee z_6^t \vee z_6^b). \quad (13)$$

Для глагольных форм расширенной парадигмы имеет место соотношение

$$z_1^2 \supset z_7^h (z_8^h (z_5^c \vee z_5^m)(z_{10}^1 \vee z_{10}^2 \vee z_{10}^3) \vee z_8^n (z_5^m \vee z_5^c (z_9^m \vee z_9^c \vee z_9^k)) \vee \\ \vee z_8^o) \vee z_7^c (z_5^m \vee z_5^c (z_9^m \vee z_9^k \vee z_9^c)) \vee z_7^n (z_5^c \vee z_5^m). \quad (14)$$

Предикат вида

$$z_1^n \supset z_4^n (z_5^c (z_9^m \vee z_9^k \vee z_9^c) \vee z_5^m)(z_6^h \vee z_6^p \vee z_6^a \vee z_6^b \vee z_6^t \vee z_6^b) \vee z_4^k \times \\ \times (z_5^m \vee z_5^c) (z_5^m \vee z_9^k \vee z_9^c) \quad (15)$$

описывает сочетаемость переменных, характеризующих словоизменительные категории прилагательных.

Перейдем к формальному описанию нормативных акцентных характеристик склоняемых и спрягаемых слов современного русского литературного языка. Математическую модель акцентных характеристик целесообразно представить в виде системы уравнений  $F_1, F_2, \dots, F_k$ , выражающих грамматические правила на языке алгебры конечных предикатов.

Для существительных зависимость значений признака «условное ударение» от акцентной характеристики слова и значений грамматических признаков выражается следующими правилами.

Акцентный тип (1), охватывающий весь основной массив существительных, характеризуется неподвижным ударением на одном и том же слоге основы во всех формах:  $y^1 \supset x^n$  (16). Акцентный тип (2) характеризуется неподвижным ударением на флексии во всех словоформах:  $y^2 \supset x^k$  (17).

Для существительных акцентного типа (3) характерно ударение на основе в форме им. пад. мн. числа (у неодушевл. сущ. — также вин. пад. мн. числа) и на флексии во всех остальных формах:

$$y^3 \supset (x^n \sim z_5^m (z_6^a \vee z_6^b z_3^h))(x^n \vee x^k). \quad (18)$$

Существительные акцентного типа (4) имеют ударение на флексии во всех формах ед. и мн. числа, за исключением форм

вин. пад. ед. числа и им. и вин. пад. мн. числа — с ударением на основе:

$$y^4 \supset (x^n \sim z_5^n (z_6^n \vee z_6^n) \vee z_5^e z_5^n) (x^n \vee x^k). \quad (19)$$

Акцентный тип (5) характеризуется ударением на основе во всех формах ед. числа и на флексии — во всех формах мн. числа:

$$y^5 \supset z_5^e x^n \vee z_5^m x^k. \quad (20)$$

Акцентный тип (6) характеризуется ударением на основе во всех формах ед. числа и в форме им. — вин. пад. мн. числа, ударением на флексии — в формах всех остальных падежей мн. числа:

$$y^6 \supset (z_5^e \vee z_5^m (z_6^n \vee z_6^n) \sim x^n) (x^n \vee x^k). \quad (21)$$

Для акцентного типа (7) характерно ударение на флексии во всех формах ед. числа и ударение на основе — во всех формах мн. числа:

$$y^7 \supset x^k z_5^e \vee x^n z_2^m. \quad (22)$$

Существительные акцентного типа (8) имеют ударение на флексии во всех формах ед. числа, за исключением формы вин. падежа, и ударение на основе — в форме вин. пад. ед. числа и во всех формах мн. числа:

$$y^8 \supset (x^n \sim z_5^e z_6^n \vee z_5^n) (x^n \vee x^k). \quad (23)$$

Перейдем к математическому описанию правил для предикативных глагольных форм. Для глаголов акцентного типа (9) характерно неподвижное ударение на одном и том же слоге основы во всех спрягаемых формах:  $y^9 \supset x^n$  (24).

Глаголы, принадлежащие акцентному типу (10), характеризуются ударением на флексии во всех формах наст. — буд. времени и в повелит. наклонении; в прош. времени ударение на последнем слоге основы

$$y^{10} \supset (z_7^n (z_8^n \vee z_8^n) \vee z_7^n \sim x^n) (x^n \vee x^k). \quad (25)$$

Акцентный тип (11) характеризуется в прош. времени ударением на последнем слоге основы; в наст. — буд. времени — на флексии в 1 л. ед. числа и на основе — в ост. формах; в повелит. наклонении ударение, как и в 1 л. ед. числа, — на флексии:

$$y^{11} \supset (z_7^n (z_8^n z_5^e z_{10}^1 \vee z_8^n) \vee z_7^n \sim x^k) (x^k \vee x^n). \quad (26)$$

Для глаголов акцентного типа (12) характерно ударение на флексии во всех спрягаемых формах:  $y^{12} \supset x^k$  (27).

Построим математическую модель размещения условного ударения в полных и кратких именах прилагательных. Известно, что акцентуационные характеристики полных и кратких прилагательных во многом не совпадают [3]. Ударение в полных

формах отличается большей устойчивостью. Все полные прилагательные по характеру ударения делятся на два акцентных типа: один из них характеризуется неподвижным ударением на основе во всех падежных формах ед. и мн. числа, для другого характерно неподвижное ударение на флексии во всех словоформах. Указанные схемы размещения ударения в полных формах прилагательных описываются уравнениями (24) и (27) соответственно. Среди прилагательных, имеющих полные и краткие формы, выделяются следующие акцентные типы по соотношению неконечного и конечного ударения в полных и кратких формах.

Акцентный тип (13) характеризуется неподвижным ударением на основе во всех полных и кратких формах:  $y^{13} \supset x^n$  (28).

Для прилагательных акцентного типа (14) характерно ударение на основе во всех полных формах и на флексии — во всех кратких формах:

$$y^{14} \supset z_4^n x^n \vee z_4^k x^k. \quad (29)$$

Прилагательные акцентного типа (15) имеют следующие характеристики: ударение на основе во всех полных и кратких формах, кроме краткой формы женского рода, где ударение на флексии:

$$y^{15} \supset (z_4^k z_5^e z_9^* \sim x^k)(x^n \vee x^k). \quad (30)$$

Акцентный тип прилагательных (16) характеризуется неподвижным ударением на флексии во всех полных и кратких формах:  $y^{16} \supset x^k$  (31).

Прилагательные акцентного типа (17) имеют ударение на флексии во всех полных формах и в краткой форме жен. рода, на основе — в остальных кратких формах:

$$y^{17} \supset (z_4^k z_5^e z_9^* \sim x^k)(x^n \vee x^k). \quad (32)$$

Все существительные, изменяющиеся по адъективному склонению, распределяются по двум акцентным типам полных форм прилагательных.

Ударение числительных представлено тремя акцентными типами. Два из них характеризуются неподвижным ударением на основе во всех формах и неподвижным ударением на флексии и могут быть описаны уравнениями (24) и (27) соответственно. Для числительных, принадлежащих акцентному типу (18), характерно ударение на флексии во всех косвенных падежах и на основе — в форме им. пад.:

$$y^{18} \supset z_6^n x^n \vee (z_6^e \vee z_6^a \vee z_6^s \vee z_6^r \vee z_6^n) x^k. \quad (33)$$

Последним звеном нашей модели является описание предикатов, устанавливающих зависимости между правильными словоформами изменяемых частей речи и соответствующими им

акцентными типами. Для существительных субстантивного и адъективного склонения справедливы соотношения

$$z_1^c z_2^c \supset y^1 \vee y^2 \vee y^3 \vee y^4 \vee y^5 \vee y^6 \vee y^7 \vee y^8 \quad (34); \quad z_1^c z_2^a \supset y^9 \vee y^{12}. \quad (35)$$

Для глаголов имеет место

$$z_1^r \supset y^9 \vee y^{10} \vee y^{11} \vee y^{12}. \quad (36)$$

Полные и краткие формы прилагательных представлены следующими акцентными типами:

$$z_1^n \supset y^9 \vee y^{12} \quad (37); \quad z_1^n \vee z_1^k \supset y^{13} \vee y^{14} \vee y^{15} \vee y^{16} \vee y^{17}. \quad (38)$$

Зависимость между словоформами числительных и соответствующими им акцентными характеристиками выражается предикатом

$$z_1^y \supset y^9 \vee y^{12} \vee y^{13}. \quad (39)$$

Таким образом, полученная система уравнений представляет собой математическое описание акцентных характеристик русского языка. Разработанная математическая модель должна естественным образом состыковываться с моделью морфологического уровня обработки словоформ для получения информации о грамматических признаках. Результаты экспериментальных исследований, проведенных с применением действующей программы решения уравнений алгебры конечных предикатов на ЭВМ [4], свидетельствуют о безошибочном действии модели.

**Список литературы:** 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О теории интеллекта. — Проблемы бнионики, 1979, вып. 22, с. 3—10. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об уравнениях теории интеллекта. — АСУ и приборы автоматки, 1979, вып. 51, с. 10—15. 3. Грамматика современного русского литературного языка. — М.: Наука, 1970. — 200 с. 4. Бондаренко М. Ф., Бондарев В. М. Программа решения систем уравнений алгебры конечных предикатов. — Фонд алгоритмов и программ, изд. АН СССР, 1980, № 5645, с. 17—23.

*Поступила в редколлегию 24.02.83.*

УДК 510.62

*Н. В. ШАРОНОВА*

#### **ФОРМАЛИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОВ В МОРФЕМЕ**

Чтобы успешно решить задачу математического описания процессов словообразования русского языка, для работы на семантическом уровне прежде всего надо решить задачу формализации на более низком уровне — на этапе формирования морфемы и распределения морфов в морфеме. Наша цель — дать формализованное представление распределения суффиксальных морфов в суффиксе.

В русском языке более пятисот различных суффиксальных морфов [1, с. 755—759]. Морфы объединяются в морфемы (суффиксы) не произвольно, а по определенным правилам. В одну морфему могут войти лишь такие морфы, которые обладают фонематической близостью при тождестве значения, характеризующиеся позиционным распределением либо вариативностью [1, с. 124—126]. Таким образом, морф — линейная единица языка, а морфема — нелинейная, обобщенная единица, представителями которой являются морфы. Например, морфема  $\langle -ств/o/ \rangle$  состоит из морфов  $-ств/o/$ ,  $-есть/o/$ ,  $тельств/o/$ ,  $-овств/o/$ . Распределение морфов внутри морфемы обусловлено чисто формальными признаками, идущими от основы: последняя буква основы или сочетание нескольких букв, ударение, для отглагольных существительных — иногда тип мотивирующего глагола и т. д.

В рамках постановки задачи описания функций морфем с использованием алгебры конечных предикатов [2] морфы объединяются в морфему при фиксации признаков, идущих от дальнего текста, и рассмотрении только признаков, идущих от самого слова, что не противоречит описанной выше ситуации.

При решении задачи формализации распределения морфов в морфеме мы выделяем следующие подзадачи: 1) рассматриваются и анализируются любые чередования в суффиксах, причем сами чередования рассматриваются шире, чем просто мена согласных или гласных; 2) группировкой морфов в морфемы достигается группировка сегментов в сегменты, т. е. множества сегментов, переходящих друг в друга при чередованиях, с одной и той же семантикой; 3) изучается, как окружение сегмента слева и справа управляет чередованием; 4) законы этого управления записываются уравнениями, связывающими буквы сегмента с буквами его окружения.

Рассмотрим конкретный пример описания распределения морфов в морфеме  $\langle -аци|j| \rangle$ . В эту морфему со значением процессуального признака входят следующие морфы (в орфографическом варианте):  $-ация$  (*деградировать* — *деградация*),  $-яция$  (*компилировать* — *компиляция*),  $-иция$  (*репетировать* — *репетиция*),  $-енция$  (*конкурировать* — *конкуренция*),  $-ция$  (*абстрагировать* — *абстракция*),  $-ия$  (*амнистировать* — *амнистия*), причем распределение морфов можно записать в виде следующих условий.

1. Морф  $-яция$  следует после мягкого л'.
2. Морф  $-иция$  выступает после мягких д', т', з'.
3. Морф  $-енция$  следует после р', ц.
4. Морф  $-ция$  идет после согласных к, б, п.
5. Морф  $-ия$  может следовать после з', с', т', м', ц.

6. Морф *-ация* выступает после парнотвердых согласных, кроме л, а также после слабой гласной фонемы |а| и после гласной у.

Эти правила можно записать на языке алгебры конечных предикатов.

Введем следующие переменные:

$y_1$  — последняя буква основы со значениями из множества букв русского алфавита;  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$  — буквы суффиксальных морфов морфемы <*-ация*> (таблица).

Уравнение для морфа *-енция* будет записано в виде

$$y_1^{p'} \vee y_1^u \supset s_1^e s_2^n s_3^c s_4^и s_5^я; \quad (1)$$

для морфа *-ация* — в следующем виде:

$$y_1^e \vee y_1^n \vee y_1^c \vee y_1^и \vee y_1^я \vee y_1^а \vee y_1^л \vee y_1^к \vee y_1^г \vee y_1^д \vee y_1^ж \vee y_1^з \vee y_1^ч \vee y_1^ш \vee y_1^щ \vee y_1^ъ \vee y_1^ь \vee y_1^э \supset s_1^e s_2^n s_3^c s_4^и s_5^я; \quad (2)$$

для морфа *-ция*:

$$y_1^{т'} \supset s_1^я s_2^н s_3^ц s_4^и s_5^я; \quad (3)$$

для морфа *-иция*:

$$y_1^{т'} \vee y_1^{з'} \supset s_1^и s_2^н s_3^ц s_4^и s_5^я; \quad (4)$$

для морфов *-ция* и *-ия*:

$$y_1^к \vee y_1^б \vee y_1^п \supset s_1^н s_2^ц s_3^и s_4^я s_5^я \quad (5); \quad y_1^{з'} \vee y_1^{ч'} \vee y_1^{т'} \vee y_1^{ш'} \supset s_1^и s_2^н s_3^ц \times s_4^и s_5^я. \quad (6)$$

Однако одного признака последней буквы основы оказывается недостаточно для решения этих уравнений. Как видно из условий 1—6, множества букв здесь пересекающиеся. Например, после буквы *ц* может идти и морф *-енция*, и морф *-ия*. Для снятия неоднозначности левые части уравнений, содержащие одинаковые буквы индексов  $y_1$ , необходимо домножить на признаки, свойственные лишь определенным морфам. В данном примере таким признаком может быть признак ударности-безударности суффиксального морфа. При одних и тех же значениях признака последней буквы основы (например, морфы *-иция* и *-ция* могут следовать после общих букв *т'*, *з'*) один морф всегда под ударением (*репетиция*, *транспозиция* и т. п.), а другой морф всегда безударен (*ревизия*, *амнистия* и др.).

Введем переменные признаки:  $x_1$  — признак твердости-мягкости буквы со значениями  $x_1^m$  — твердая,  $x_1^m$  — мягкая;  $x_2$  — при-

знак ударности морфа со значениями  $x^y$  — ударный,  $x_2^b$  — безударный и перепишем уравнения (1) — (6) с использованием этих признаков:

$$\begin{aligned}
 & y_1^p x_1^m \vee y_1^u x_2^y \supset s_1^e s_2^h s_3^u s_4^h s_5^a; \\
 & (y_1^k \vee y_1^n \vee y_1^b) x_1^t x_2^y \vee (y_1^f \vee y_1^a \vee y_1^r \vee y_1^i \vee y_1^c \vee y_1^s \vee y_1^t \vee y_1^x \vee y_1^m \vee \\
 & \vee y_1^n \vee y_1^p) x_1^t \vee y_1^a \vee y_1^i \supset s_1^a s_2^h s_3^u s_4^h s_5^a; \quad (7) \\
 & y_1^r x_1^m \supset s_1^a s_2^h s_3^u s_4^h s_5^a; \\
 & (y_1^r \vee y_1^t \vee y_1^s) x_1^m x_2^y \supset s_1^h s_2^h s_3^u s_4^h s_5^a; \\
 & (y_1^k \vee y_1^b \vee y_1^n) x_1^t x_2^b \supset s_1^h s_2^h s_3^u s_4^h s_5^a; \\
 & -((y_1^s \vee y_1^c \vee y_1^r \vee y_1^m) x_1^m \vee y_1^u) x_2^b \supset s_1^h s_2^h s_3^u s_4^h s_5^a.
 \end{aligned}$$

Система уравнений (7) и есть формальное представление распределения морфов в морфеме <ация>.

Как видно из этого примера, у всех морфов одной морфемы имеется общая часть и совсем не обязательно ее каждый раз записывать. Если воспользоваться фрагментированной формой записи (3), то можно описать только чередования в первом или первых двух фрагментах, не рассматривая неизменяющихся фрагментов текста.

Приведенный здесь пример распределения морфов в морфеме — один из самых простых. Бывают случаи более сложные и запутанные, однако и для их формализации находятся признаки, позволяющие записывать довольно компактные уравнения. Для описания распределения наиболее сложных по составу морфем (например, в морфеме <-к/а/ > входит 14 морфов: -к/а/, -ульк/а/, -юльк/а/, -анк/а/, -янк/а/, -ячк/а/, -авк/а/, -явк/а/, -ейк/а/, -отк/а/, -овк/а/, -шк/а/, -чк/а/, -ушк/а/ — с разной степенью продуктивности) приходится составлять списки слов, включающих данные морфы, и формировать классы основ, к которым эти морфы присоединяются. Нами была проведена такая работа для суффиксов всех имен существительных русского языка, мотивированных глаголами, и получены уравнения, описывающие законы распределения суффиксальных морфов внутри этих суффиксов (морфем). Таких морфем для имен существительных со значением «носитель процессуального признака» оказалось 81 (морфов — 133), для имен существительных со значением «отвлеченный процессуальный признак» — 46 (морфов — 83), причем в это число входит значительное количество уникальных суффиксов, встречающихся в 1—2 словах, а также суффиксов, принимающих участие в образовании небольших (из двух-трех слов) групп существительных. В этих случаях мотивирующие основы задаются списками, включающими иногда только одно слово.

Приведем несколько примеров формального описания распределения морфов в морфеме.

**Пример 1.** Рассмотрим морфему  $\langle -тель \rangle$ , включающую морфы  $-тель, -итель$ . Существительные этого словообразовательного типа называют лицо или предмет, производящий действие или предназначенный для осуществления действия, названного мотивирующим словом. Если морфы представить в сегментированной форме, т. е. записать:  $\langle тель \rangle: \_т\_ / ель \vee ит\_ / ель$ , то можно задачу свести к описанию чередований в первом сегменте  $s_1 s_2 s_3$ , где  $s_1 = иV\_ , s_2 = т , s_3 = \_$ .

Запишем правила появления морфов.

1. Морф  $-тель$  выступает после гласной (*испыта-ть* → *испытатель, храни-ть* → *храни-тель, владе-ть* → *владе-тель, жи-ть* → *жи-тель*).

2. Морф  $-итель$  выступает после согласной в следующих случаях:

а) мотивирующий глагол X класса на  $-е$  (причем  $-е$  отсекается) и VI класса на согласную (*смотре-ть* → *смотр-итель, спасти* → *спас-итель*);

б) в случае, когда мотивирующая основа на согласную совпадает с основой настоящего времени глагола (*знать, гон-ю* → *гон-итель; двигать, движ-у* → *движ-итель*);

в) в отдельных случаях: *сказ-ыва-ть* → *сказ-итель (-ыва- отсекается), повел-ева-ть* → *повел-итель (-ева- отсекается), блюсти* → *блюст-итель, влад-еть* → *власт-итель* (редкие наращения основы за счет финали).

Если условия  $a, б, в$  обозначить предикатами,  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$ , принимающими значение 1 в случае, когда соответствующее условие выполняется, и 0 — в противном случае, то правила появления морфов можно записать следующим образом:

$$\text{Гл}(y_1) \supset s_1^1; \text{Сг}(y_1) (\tau_1 \vee \tau_2 \vee \tau_3) \supset s_1^0,$$

где  $y_1$  — последняя буква основы;  $\text{Гл}(y_1)$  и  $\text{Сг}(y_1)$  — именные предикаты, обозначающие

$$\text{Гл}(y_1) = \begin{cases} 1, & \text{если } y_1 \text{ — гласная буква,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$\text{Сг}(y_1) = \begin{cases} 1, & \text{если } y_1 \text{ — согласная буква,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Предикаты  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  можно попытаться выразить более точно, введя следующие признаки:

1) класс глагола  $T = t_1 V t_2$ , где  $t_1$  — X класс на  $-е$ - или VI класс на согласную,  $t_2$  — любой другой класс;

2) признак глагольной основы  $R = r_1 \vee r_2$ , где  $r_1$  — основа совпадает с основой настоящего времени глагола,  $r_2$  — не совпадает;

3) признак, позволяющий выделить отдельные случаи редких наращений основы и отдельных образований, — выделение таких слов в отдельный список и сравнение с этим списком:  $Q$  — список исключений:  $Q\{\text{сказ-, повел-, блюст-, власт-}\}$ .

С учетом введенных обозначений можно записать условия распределения морфов в морфеме  $\langle\text{-тель}\rangle$ :

$$\Gamma_l(y_1) \supset s_1^H; \text{Cт}(y_1)(t_1 \vee r_1 \vee Q) \supset s_1^H. \quad (8)$$

Кроме того, может оказаться полезным при решении задачи синтеза то обстоятельство, что морф  $\text{-итель}$  всегда под ударением, а морф  $\text{-тель}$  безударен. Далее, когда говорится, что морф  $\text{-тель}$  может идти после гласной, то это не значит, что он идет после любой гласной. То же самое — в случае с согласными. Можно ввести дополнительные ограничения, например, первое уравнение системы (8) заменить уравнением

$$(y_1^a \vee y_1^e \vee y_1^H \vee y_1^H) x_r^b \supset s_1^H.$$

Эти ограничения вызваны словарной реализацией.

**Пример 2.** Рассмотрим морфему  $\langle\text{-ец}\rangle$ , состоящую из морфов  $\text{-ец}$ ,  $\text{-нец}$ ,  $\text{-енец}$ ,  $\text{-омец}$ . Существительные с этим суффиксом называют лицо или предмет, характеризующийся действием названного мотивирующим словом ( $\text{льстец}$ ,  $\text{продавец}$ ,  $\text{выходец}$ ,  $\text{сорванец}$ ,  $\text{швец}$ ). Правила распределения морфов следующие: морф  $\text{-ец}$  следует после отсекаемой гласной инфинитивной основы, морф  $\text{-нец}$  — после неотсекаемой гласной, морф  $\text{-енец}$  имеется в единственном слове  $\text{беженец}$ , морф  $\text{-омец}$  — в одном слове  $\text{питомец}$ . В словах  $\text{гон-ец}$ ,  $\text{жн-ец}$ ,  $\text{остан-ец}$  выступает глагольная основа настоящего времени. В словах  $\text{шв-ец}$ ,  $\text{пев-ец}$ ,  $\text{бо-ец}$ ,  $\text{чт-ец}$  нерегулярные соотношения основ.

Запишем:  $\langle\text{-ец}\rangle$ :  $\text{ец}\_\vee\_\text{н}\_\text{/ец}\_\vee\_\text{е}\_\text{/ец}\_\vee\_\text{ом}\_\text{/ец}$ . Чередования происходят лишь в первом сегменте  $s_1s_2s_3$ , второй сегмент не меняется. Уравнения, описывающие законы этих изменений, следующие:

$$\begin{aligned} \text{Cт}(y_1) \vee \text{Cт}(y_1)(r_1 \vee Q_1) \vee \Gamma_l(y_1)Q_1 \supset s_1^H s_2^H s_3^H; \Gamma_l(y_1) \supset s_1^H s_2^H s_3^H \\ Q_2 \supset s_1^e s_2^H s_3^H; Q_3 \supset s_1^0 s_2^H s_3^H, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  — списки нерегулярных и единичных основ (исключений):  $Q_1\{\text{шв-, пев-, бо-, чт-}\}$ ,  $Q_2\{\text{беж-}\}$ ,  $Q_3\{\text{пит-}\}$ .

Система уравнений (9) не только описывает распределение морфов в морфеме, но и позволяет выделить чередующиеся в пределах одной семантики сегменты, т. е. объединить их в сегменту. Это множество сегментов, переходящих друг в друга при чередованиях, с одной и той же семантикой.

Список литературы: 1. *Русская грамматика*. Т. 1.— М.: Наука, 1980.— 759 с. 2. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об универсальной алгебре конечных предикатов.— АСУ и приборы автоматики, 1980, вып. 55, с. 69—74. 3. *Бондаренко М. Ф., Шаронова Н. В.* Моделирование фрагментированных суффиксов имен существительных.— Деп. ВИНТИ, 1981, № 964.— 60 с.

Поступила в редколлегию 25.12.81.

УДК 510.62

Н. В. РЯБОВА

## О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ МОРФОНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ СУФФИКСАЛЬНОМ СЛОВООБРАЗОВАНИИ ИМЕН СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫХ РУССКОГО ЯЗЫКА

При формализации словообразовательных процессов необходимо учитывать явления, сопутствующие деривационному процессу, так как неполное выявление отношений между производящей основой и производным словом влечет за собой неполное описание всей словообразовательной модели в целом. Наглядно это можно проследить на примере суффиксального словообразования существительных, наделенных предметным признаком. В них особенно развито явление полисемантической одного словообразовательного суффикса (-ник), т. е. фактически мы сталкиваемся с омонимичными словообразовательными суффиксами, каждый из которых имеет свою «семантическую роль» (*ватник, шпажник, ельник, ценник* и т. д.). На морфемном шве при соединении производящей основы со словообразовательным суффиксом происходят следующие процессы: а) **чередование фонем**, когда конец последнего морфа производящей основы изменяется, приспособляясь к началу словообразовательного суффикса. Например: *свинец — свинчак, горчица — горчичник, плуг — плужник* и т. д.; б) **интерфиксация**, когда между концом производящей основы и началом словообразовательного суффикса вставляется незначимый, асемантический элемент — интерфикс. Например: *шип — шиповник, еж — ежовник, кочка — кочкарник, куст — кустарник, пихта — пихтарник, пихта — пихтовник* и т. д.; в) **наложение или интерференция морфов**, когда конец одного морфа объединяется с началом другого. Например: *овчар — овчарник, псарь — псарник, волчата — волчатник* и т. д.

С явлением интерфиксации сталкиваемся всякий раз, когда на стыке основы и словообразовательного суффикса появляются сочетания фонем, запрещенные законами морфонологии или нехарактерные для структуры русского слова. Это явление (интерфиксация) широко используется в морфонологии для соединения морфов в слове. По своей функции она аналогична чередованию [1].

Что же влияет на выбор словообразовательного суффикса? Употребление того или иного варианта одного суффикса в «Русской грамматике» [2] представляется с синхронной точки зрения путем раскрытия только дополнительной дистрибуции. Как указывает В. И. Максимов [3], словообразовательная дистрибуция ни в синхронном, ни в диахронном плане не может определяться только признаками мягкости-твердости предшествующего согласного или местом его артикуляции. Морфонологический фактор является одним из многих факторов, определяющих выбор того или иного суффикса. К таким факторам относятся: принадлежность производящих основ к той или иной части речи; принадлежность производящих основ к тому или иному роду; принадлежность производящих основ к существительным одушевленным или неодушевленным; принадлежность производящих основ к существительным собственным или нарицательным; семантические, функционально-стилистические и структурные особенности производящих слов.

При построении математических моделей словообразования на разных этапах мы учитываем все перечисленные факторы. Например, с целью конкретизации задачи можно фиксировать часть значений переменных признаков, чем достигается взаимное однозначное соответствие между конкретным набором значений переменных признаков и словообразовательным суффиксом. Изучая влияние морфонологических факторов на построение словообразовательной модели, мы исходили из принципов, изложенных в [4]. При этом мы фиксировали значения всех признаков, идущих от «дальнего текста», т. е. смысловых признаков, и рассматривали все виды влияния «ближнего текста» т. е. влияния производящей основы. Необходимо учитывать также, что в одну словообразовательную морфему-суффикс можно объединять только морфы (варианты суффикса), идентичные по всем оттенкам смысловых признаков, идущих от дальнего текста.

Рассмотрим распределение морфонологических моделей для конкретных словообразовательных типов (с суффиксом *-ник*) на примере отсубстантивных неодушевленных существительных мужского рода, наделенного предметным признаком. В результате фиксации «дальнего текста» получим следующие словообразовательные модели (таблица), где каждому словообразовательному суффиксу *-ник* под конкретным номером соответствует конкретный набор значений семантических признаков.

Чтобы получить полное описание морфонологических моделей в пределах полученных словообразовательных моделей, необходимо ввести систему признаков, определяющих влияние «ближнего текста». Перечислим их:

$z_0$  — предпоследняя буква основы со значениями всех букв русского алфавита;  $z_1$  — последняя буква основы, также принимает значения всех букв алфавита;  $z_2$  — признак твердости

№ л. п.	Словообразовательная морфема	Морфы, входящие в морфему	Общее семантическое значение	Лингвистические примеры
1	2	3	4	5
1	-ник	-ник/-овник	Нерукотворный; единичный (название единичного растения)	Лимонник, шиповник, ежевник, пустырник, котовник, морковник
2	-ник	-ник/ -овник/ -арник/ -няк/ -ач	Нерукотворный; название совокупности растений одного вида или зарослей растений одного вида	Березник, ельник, раkitник, пихтовник, сосняк, дубняк, малинник, сливняк, лозинник, ивняк
3	-ник	-ник/-арник	Нерукотворный; пространство, участок территории, покрытый тем, что названо в основе или на котором произрастает то, что названо в основе	кочкарник, ледник, игольник, ягодник, цветник, хмельник
4	-ник	-ник/-як	Нерукотворный; Совокупность того, что названо в основе; части тела, организма человека или животного	косяк, кишечник
5	-ник	-ник/ -овник/еник	Рукотворный; сделан из того, что названо в основе; съедобный	Сырник, рыбник, крупеник, грушовник
6	-ник	-ник/ебник	Рукотворный; всегда содержит в себе то, что названо в основе; продукты и результаты интеллектуальной деятельности (книги)	справочник, вопросник, ценник, решебник
7	-ник	-ник/-овник	Рукотворный; содержит в себе толкование, объяснение того, что названо в основе	сонник, травник, гербовник, письмовник
8	-ник	-ник/-чик	Рукотворный; предназначен для того, что названо в основе; простейшие приборы, механизмы	передатчик, счетчик, пробник, подъемник

1	2	3	4	5
9	-ник	-ник/-евик	Рукотворный; предназначен для того (или для защиты от того), что названо в основе; одежда и ее части	пыльник, передник, дождевик, головник
10	-ник	-ник/-атник -ятник/ -овник/	Рукотворный; предназначен для того, что названо в основе; помещение	коровник, птичник, гусятник, свиарник, слоновник

или мягкости буквы, область его изменения задается уравнением  $z_2^i \vee z_2^m = 1$ ;  $z_3$  — признак ударности или безударности суффикса с областью изменения, задаваемой уравнением  $z_3^y \vee z_3^c = 1$ ;  $z_4$  — признак современности суффикса (современный или устаревший), область его изменения задается уравнением  $z_4^c \vee z_4^y = 1$ ;  $z_5$  — признак односложности основы (основа односложная или нет) с областью изменения  $z_5^0 \vee z_5^m = 1$ ;  $z_6$  — признак наличия чередования в последней букве основы, область его изменения задается  $z_6^m \vee z_6^c = 1$ ;  $z_7$  — признак рода отсубстантивной основы, задается уравнением  $z_7^m \vee z_7^k \vee z_7^c = 1$ ;  $z_8$  — признак одушевленности субстантивной основы, задается уравнением  $z_8^0 \vee z_8^m = 1$ ;  $z_9$  — признак узуальности (областной, разговорный, просторечный, книжный, специальный), задается уравнением  $z_9^0 \vee z_9^b \vee z_9^n \vee z_9^k \vee z_9^c = 1$ ;  $z_{10}$  — признак производности основы (основа производная или нет), задается уравнением  $z_{10}^n \vee z_{10}^m = 1$ ;  $z_{11}$  — признак „отсечения“ части основы (отсекается часть основы в процессе словообразования или нет), область его изменения задается уравнением  $z_{11}^0 \vee z_{11}^m = 1$ .

Кроме перечисленных выше признаков в целях удобства описания морфологических моделей введем также именные предикаты. Предикат  $Гл(z)$ , принимающий значение «1» только тогда, когда  $z$  — гласная буква, и равный нулю в остальных случаях; аналогично вводится предикат  $Сг(z)$ , принимающий значение «1» для всех  $z$  — согласных букв; предикат  $Сн(z)$ , принимающий значение «1» не для всех согласных букв, а только для сонорных согласных, а именно:  $[j]$ ,  $[m]$ ,  $[m']$ ,  $[n]$ ,  $[n']$ ,  $[л]$ ,  $[л']$ ,  $[р]$ ,  $[р']$  (в фонематической записи). Предикат  $Сг'(z)$ , принимающий значение «1» для всех согласных, кроме заднеязычных ( $г$ ,  $к$ ,  $х$ ).

Используя введенные именные предикаты и задавая на множестве признаков необходимые отношения, опишем правила

распределения морфов внутри словообразовательных морфем в виде уравнений алгебры конечных предикатов [5]. Совокупность таких уравнений составит математическое описание морфонологических моделей в рамках моделей словообразовательных. Обозначим  $S = (s_1, s_2, s_3, s_4, s_5)$  — словообразовательный суффикс (или его вариант), где  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$  — буквы суффикса, стоящие соответственно на 1-м, 2-м, ..., 5-м местах в суффиксе. Рассмотрим на конкретных примерах распределение морфов в словообразовательной морфеме. Для словообразовательной модели № 1 (см. таблицу) «единичные растения» лингвистические правила распределения морфов следующие: суффикс *-ник* присоединяется к основам, оканчивающимся на <гласную, согласную (кроме г, к, х)>, или к основам, оканчивающимся на <сопоруную согласную, несонорную согласную>, а также <з, д>, <с, т>. Морф *-овник* присоединяется к основам, оканчивающимся на <гласную, заднеязычную согласную>, или к основам на <согласную, согласную>, или к основам мужского рода, односложным (в том числе оканчивающимся на сочетания <гласная, согласная>), исключение — основа на <е, м> (шлемник). Запишем эти правила в виде уравнений алгебры конечных предикатов:

$$\text{Гл}(z_0) \text{Сг}(z_1) (z_7^* \vee z_7^c \vee z_7^* z_5^h) \supset s_1^h s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k;$$

$$\text{Сн}(z_0) \text{Сг}(z_1) \vee z_0^s z_1^a \vee z_0^c z_1^* z_7^* z_8^h \supset s_1^h s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k;$$

$$\text{Сг}(z_0) \text{Сг}(z_1) \supset s_1^0 s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k; z_5^0 z_7^* \supset s_1^0 s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k;$$

$$\text{Гл}(z_0) (z_1^i \vee z_1^k \vee z_1^j) \supset s_1^0 s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k. \quad (1)$$

Для словообразовательной модели № 2 (название совокупности растений одного вида) условия распределения морфов морфеме следующие: условие выбора суффикса *-ник* или *-няк* роисходит по признаку ударности суффикса — суффикс *-ник* всегда безударен, *-няк* — всегда под ударением. К тем основам, которым суффикс *-ник* не может присоединиться «в чистом иде», т. е. непосредственно, присоединяется один из его вариантов: *-арник* или *-овник*. Морф *-арник* при этом несет стилевую нагрузку «областной», морф *-овник* такой особенностью не обладает. Он присоединяется к основам, оканчивающимся на две согласных. Уравнения, описывающие распределение морфов, будут иметь следующий вид:

$$z_3^j \supset (s_1^h \vee s_1^0 \vee s_1^i) (s_2^h \vee s_2^a \vee s_2^j) (s_3^h \vee s_3^j) \wedge (s_4^h \vee s_4^a \vee s_4^i) (s_5^k \vee s_5^j);$$

$$z_3^0 \supset s_1^h s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k; \text{Гл}(z_0) \text{Сг}(z_1) \supset s_1^h s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k; \text{Сг}(z_0) \text{Сг}(z_1) \supset$$

$$\supset (s_1^0 \vee s_1^i \vee s_1^j) (s_2^a \vee s_2^b \vee s_2^j) \wedge (s_3^h \vee s_3^j) (s_4^h \vee s_4^a) (s_5^k \vee s_5^j);$$

$$z_3^j z_9^0 \supset s_1^h s_2^h s_3^h s_4^h s_5^k. \quad (2)$$

В рамках словообразовательной модели № 3 (пространство, территория, покрытая тем, что названо в основе или на которой произрастает то, что названо в основе) условия распределения морфов в морфеме следующие: морф *-ник* присоединяется к основам на <гласную, согласную>, морф *-арник* — к основам на две согласные (ч, к). Уравнения имеют вид

$$\text{Гл}(z_0) \text{Сг}(z_1) \supset s_1^u s_2^u s_3^u s_4^u s_5^k; \text{Сг}(z_0) \text{Сг}(z_1) \supset s_1^a s_2^p s_3^u s_4^u s_5^k. \quad (3)$$

Для словообразовательной морфемы с общей семантикой «части тела, организма человека, животного» распределение морфов будет следующим: к основам, оканчивающимся на две согласные, присоединяется морф *-як*. Если в такого типа основах при словообразовательном процессе происходит чередование в конце основы, то присоединяется морф *-ник* (так как основа, видоизменяясь, приобретает тип <гласная, согласная>). Запишем уравнения распределения морфов для данного случая:

$$\text{Сг}(z_0) \text{Сг}(z_1) \supset s_1^u s_2^u s_3^u s_4^u s_5^k; \text{Сг}(z_0) \text{Сг}(z_1) z_6^u \supset s_1^u s_2^u s_3^u s_4^u s_5^k. \quad (4)$$

Рассмотрим словообразовательную модель с общей семантикой «рукотворные предметы, обладающие признаком изготовления из того, что названо в основе, употребляются в пищу (продукты питания)». Условия распределения морфов: морф *-ник* всегда безударен, морфы *-овник* и *-еник* всегда ударны, при этом морф *-еник* несет стилевую характеристику «областной» и, кроме того, устаревший:

$$z_3^y \supset (s_1^0 \vee s_1^u)(s_2^e \vee s_2^a) s_3^u s_4^u s_5^k; z_3^e \supset s_1^u s_2^u s_3^u s_4^u s_5^k; z_3^y z_9^0 z_4^y \supset s_1^u s_2^e s_3^u \wedge \wedge s_4^u s_5^k. \quad (5)$$

Для словообразовательной модели № 6 (рукотворные предметы, всегда содержащие в себе то, что названо в основе; продукты и результаты интеллектуальной деятельности (книги в данном случае)) распределение морфов в морфеме следующее: морф *-ник* присоединяется ко всем основам, в том числе к тем, в которых происходит чередование в конце основы. К основам, в которых происходит усечение при словообразовательном процессе, присоединяется морф *-ебник* (устаревший). Запишем уравнения распределения морфов в морфеме:

$$\text{Гл}(z_0) \text{Сг}(z_1) \vee \text{Сг}(z_0) \text{Сг}(z_1) z_6^u \supset s_1^u s_2^u s_3^u s_4^u s_5^k; z_{11}^0 z_4^y \supset s_1^e s_2^e s_3^u s_4^u s_5^k \quad (6)$$

На рассмотренных примерах мы показали, что, зафиксировав «дачный текст» и выявив все виды влияния «ближнего текста» (путем введения соответствующих признаков), можно достигнуть строго однозначного распределения морфов внутри словообразовательной морфемы.

**Список литературы:** 1. *Современный русский язык*.— М.: Высшая школа, 1981.— 115 с. 2. *Русская грамматика*.— М.: Наука, 1980.— 780 с. 3. *Максимов В. И. Структура и членение слова*.— Л.: Изд-во при Ленингр. ун-те, 1977, с. 87—89. 4. *Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О математическом описании естественного языка*.— Проблемы бионики, 1981, вып. 27, с. 9—13. 5. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об алгебре конечных предикатов*.— Проблемы бионики, 1979, вып. 22, с. 12—15.

*Поступила в редколлегию 30.03.83.*

УДК 510.62

*З. Ю. МАЛЕНЧЕНКО, В. Л. ДЕРКАЧ*

### **ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРОМКОСТИ СЛУХОВОГО ОЩУЩЕНИЯ**

Мы предприняли попытку разработать подход к физико-математическому изучению преобразования органом слуха человека акустического сигнала в громкость слухового ощущения. С этой целью используется метод нуль-органа, описанный в работе [1]. Сущность метода нуль-органа состоит в следующем. Испытуемому предъявляют два звука  $x$  и  $y$  из какого-то четко очерченного множества  $M$ . Он воспринимает эти звуки либо одним ухом последовательно во времени, либо двумя ушами одновременно. Требуется, чтобы испытуемый сравнил громкости ощущений двух звуков и установил факт их равенства или неравенства. Если громкости звуков равны, то испытуемый должен реагировать на это ответом  $t=1$ , в противном случае — ответом  $t=0$ . Если звуки, предъявленные испытуемому, сильно разнятся по тембру, то сравнение их по громкости может оказаться затруднительным. Для преодоления этого препятствия можно применить метод «шаг за шагом», основанный на введении нескольких промежуточных звуков между данными звуками при сравнении их громкости.

Испытуемый своим поведением реализует некоторое отображение сигналов  $t=E(x, y)$ . Мы будем предполагать, что это отображение удовлетворяет следующим четырем условиям.

**Аксиома однозначности.** Отображение  $t=E(x, y)$  однозначное, оно представляет собой предикат, заданный на множестве  $M \times M$ , со значениями в множестве  $\{0, 1\}$ .

**Аксиома рефлексивности.** Для любого  $x \in M$ ,  $E(x, x) = 1$ .

**Аксиома симметричности.** Для любых  $x, y \in M$  из условия  $E(x, y) = 1$  следует  $E(y, x) = 1$ .

**Аксиома транзитивности.** Для любых  $x, y, z \in M$  из условия  $E(x, y) = E(y, z) = 1$  следует  $E(x, z) = 1$ .

При выполнении всех перечисленных аксиом отображение может быть представлено в виде  $E(x, y) = D(F(x), F(y))$  (1) где  $F$  — функция, отображающая множество  $M$  на некоторое

множество  $N$ ;  $D$  — предикат равенства, заданный на  $N \times N$  и определяемый условиями:

$$D(U, V) = \begin{cases} 1, & \text{если } U = V, \\ 0, & \text{если } U \neq V. \end{cases} \quad (2)$$

Доказательство этого утверждения можно найти в работе [1, с. 71]. Любое отображение  $E(x, y)$  из  $M \times M$  в  $\{0, 1\}$ , представимое в виде (1), назовем предикатом эквивалентности, заданным на множестве  $M$ .

Функция  $U = F(x)$  (3), которую мы назовем характеристической функцией предиката эквивалентности  $E$ , может быть принята в качестве искомого преобразования звука  $x$  в громкость  $U$  его слухового ощущения. Действительно, когда громкости звуков  $x$  и  $y$  совпадают, то  $E(x, y) = 1$ , поэтому  $D(F(x), F(y)) = 1$ , следовательно,  $F(x) = F(y)$ . Обратно, когда  $F(x) = F(y)$ , то  $D(F(x), F(y)) = 1$ , откуда следует  $E(x, y) = 1$ , а это означает, что громкости звуков  $x$  и  $y$  совпадают. Таким образом, сигнал  $U = F(x)$  при любом  $x \in M$  взаимно однозначно связан с громкостью сигнала  $x$ . Отсюда непосредственно вытекает, что сигнал  $U$  может быть принят в качестве математического эквивалента громкости звука  $x$ .

Чтобы конкретизировать вид преобразования  $U = F(x)$  звука  $x$  в его громкость  $U$ , мы сформулируем дополнительные предположения о свойствах предиката  $E$ . Будем считать, что множество  $M$  есть  $n$ -мерное арифметическое пространство  $M = R^n$ . Каждый элемент  $x$  пространства  $R^n$  представляет собой набор (вектор), составленный из  $n$  вещественных чисел  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  т. е.  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ . В качестве суммы векторов  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  и  $y = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$  принимаем вектор  $x + y = (\xi_1 + \eta_1, \xi_2 + \eta_2, \dots, \xi_n + \eta_n)$ . Произведение вектора  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  на вещественное число  $\lambda$  определяем как вектор  $\lambda x = (\lambda \xi_1, \lambda \xi_2, \dots, \lambda \xi_n)$ . Под скалярным произведением векторов  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  и  $y = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$  будем понимать вещественное число  $xy = \xi_1 \eta_1 + \xi_2 \eta_2 + \dots + \xi_n \eta_n$  (4).

Полагаем, что предикат  $E$  удовлетворяет следующим трем свойствам.

**Аксиома аддитивности.** Для любых  $x_1, x_2, y_1, y_2 \in R^n$  из условия  $E(x_1, y_1) = E(x_2, y_2) = 1$  следует  $E(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = 1$ .

**Аксиома одномерности.** Существует вектор  $e \in R^n$  такой, что для всякого  $x \in R^n$  найдется единственное вещественное число  $\alpha(x)$ , удовлетворяющее условию  $E(x, \alpha(x)e) = 1$  (5).

**Аксиома непрерывности.** Функционал  $\alpha(x)$  непрерывен на  $R^n$ .

При выполнении этих аксиом преобразование  $F$  для любого  $x \in R^n$  может быть математически представлено в виде

$$F(x) = g \circ x = \gamma_1 \xi_1 + \gamma_2 \xi_2 + \dots + \gamma_n \xi_n \dots \quad (6)$$

десь  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ ,  $g = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$  — некоторый фиксированный ненулевой вектор из  $R^n$ . Это утверждение доказывается следующей теоремой.

**Теорема.** Для возможности представления в виде (6) характеристической функции  $F$  предиката эквивалентности  $E$ , заданного на  $R^n$ , необходимо и достаточно, чтобы предикат  $E$  удовлетворял аксиомам аддитивности, одномерности и непрерывности.

**Доказательство. Необходимость.** Пусть функция  $F$  выражается формулой (6). Докажем, что предикат  $E$  удовлетворяет аксиоме аддитивности. Предположим, что  $E(x_1, y_1) = E(x_2, y_2) = 1$ . Тогда  $g \circ x_1 = g \circ y_1$  и  $g \circ x_2 = g \circ y_2$ , откуда  $g \circ (x_1 + x_2) = g \circ (y_1 + y_2)$ , следовательно,  $E(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = 1$ . Для доказательства аксиомы одномерности предиката  $E$  положим  $= g$ . Теперь аксиома одномерности означает, что уравнение

$$E(x, \alpha(x)g) = 1 \quad (7)$$

однозначно разрешимо относительно числа  $\alpha(x)$ . Перепишем уравнение (7) в виде  $g \circ x = g \circ (\alpha(x)g)$ , а затем в виде  $\alpha(x) \times (g \circ g) = g \circ x$ . Поскольку вектор  $g$  ненулевой, скалярное произведение  $g \circ g$  отлично от нуля. Отсюда получаем единственное решение уравнения (7)

$$\alpha(x) = \frac{g \circ x}{g \circ g}.$$

Аксиома непрерывности для предиката  $E$  непосредственно вытекает из непрерывности скалярного произведения.

**Достаточность.** Докажем аддитивность функционала (6). В силу одномерности предиката  $E$ , для любых  $x, y \in R^n$  имеем

$$E(x, \alpha(x)e) = 1; \quad (8)$$

$$E(y, \alpha(y)e) = 1; \quad (9)$$

$$E(x+y, \alpha(x+y)e) = 1. \quad (10)$$

Из свойства аддитивности предиката  $E$  из (8) и (9) выводим

$$E(x+y, (\alpha(x) + \alpha(y))e) = 1. \quad (11)$$

Из-за свойства одномерности предиката  $E$  множители при векторе  $e$  в (10) и (11) совпадают, следовательно,  $\alpha(x+y) = \alpha(x) + \alpha(y)$ , что и означает аддитивность функционала  $\alpha(x)$ . Непрерывность функционала  $\alpha(x)$  непосредственно вытекает из свойства непрерывности предиката  $E$ . Известно [2, с. 180], что любой аддитивный и непрерывный функционал  $\alpha(x)$ , заданный на  $R^n$ , может быть представлен в виде  $\alpha(x) = g \circ x$ , где  $g$  — некоторый вектор из  $R^n$ .

Докажем, далее, что равенства  $E(x, y) = 1$  и  $\alpha(x) = \alpha(y)$  равносильны. Предположим, что  $E(x, y) = 1$ , тогда из (8) и (9) с помощью свойств симметричности и транзитивности предиката  $E$  выводим  $E(y, \alpha(x)e) = 1$ . Сравнивая только что полученное равенство с (9) и используя свойство единственности значений коэффициентов при  $e$ , содержащееся в условии одномерности предиката  $E$ , находим, что  $\alpha(x) = \alpha(y)$ . Обратно, если  $\alpha(x) = \alpha(y)$ , то  $\alpha(x)e = \alpha(y)e$ . Отсюда, а также из (8) и (9) с помощью свойств симметричности и транзитивности предиката  $E$  выводим равенство  $E(x, y) = 1$ . Доказанное означает, что характеристическая функция предиката эквивалентности, обладающего свойствами аддитивности, одномерности и непрерывности, может быть представлена в виде (6).

Нам осталось доказать, что вектор  $g$ , фигурирующий в формуле (6), не равен нулю. Установим сначала, что функционал  $\alpha(x)$  не равен тождественно нулю. Для этого достаточно убедиться в том, что уравнение  $\beta\alpha(x) = 0$  (12), выполняется для всех  $x$  лишь в том случае, когда число  $\beta$  равно нулю. Если равенство (12) выполняется для любых  $x \in R^n$ , то оно должно быть справедливо и для  $x = \beta e$ . В силу свойства рефлексивности предиката  $E$  имеем  $E(x, \beta e) = 1$ . Сравнивая последнее равенство с (8) и учитывая единственность числового множителя при  $e$  (по одномерности предиката  $E$ ), получаем  $\alpha(x) = \beta$ . После подстановки найденного значения функционала  $\alpha(x)$  в (12) приходим к уравнению  $\beta^2 = 0$ , из которого следует, что  $\beta = 0$ . Это означает, что функционал  $\alpha(x)$  не равен тождественно нулю.

Наконец, докажем, что вектор  $g$  не равен нулю. Для этого достаточно убедиться в том, что из условия  $\delta g = 0$  (13) следует, что число  $\delta$  равно нулю. Из (13) выводим  $(\delta g)ox = 0$ . Вместе с тем  $(\delta g)ox = \delta(xog) = \delta\alpha(x)$ . Таким образом, приходим к уравнению  $\delta\alpha(x) = 0$ , которое, как только что было доказано, выполняется лишь, если  $\delta = 0$ . Это означает, что вектор  $g$  не равен тождественно нулю.

Теорема доказана.

Рассмотрим один конкретный способ акустической интерпретации элементов пространства  $R^n$ . Введем фиксированный акустический сигнал, у которого диаграмма зависимости звукового давления  $p_0$  от времени  $\tau$  имеет вид

$$p_0(\tau) = \lambda_{10} \sin \omega\tau + \lambda_{20} \sin 2\omega\tau + \dots + \lambda_{n0} \sin n\omega\tau. \quad (14)$$

Здесь  $\omega$  — некоторая фиксированная частота;  $\lambda_{10}, \lambda_{20}, \dots, \lambda_{n0}$  — некоторые фиксированные амплитуды первой, второй и т. д.,  $n$ -й гармоник акустического сигнала. Этот сигнал мы примем за нулевой вектор  $0 = (0, 0, \dots, 0)$  пространства  $K^n$ . Введем также переменный акустический сигнал с диаграммой звукового давления

$$p(\tau) = \lambda_1 \sin \omega\tau + \lambda_2 \sin 2\omega\tau + \dots + \lambda_n \sin n\omega\tau, \quad (15)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  — произвольно выбираемые амплитуды первой, второй, и т. д.,  $n$ -й гармоник.

Введем отклонение  $\Delta p(\tau)$  функции  $p(\tau)$  от функции  $p_0(\tau)$

$$\Delta p(\tau) = p(\tau) - p_0(\tau) = (\lambda_1 - \lambda_{10}) \sin \omega\tau + (\lambda_2 - \lambda_{20}) \sin 2\omega\tau + \dots + (\lambda_n - \lambda_{n0}) \sin n\omega\tau. \quad (16)$$

Полагая

$$\lambda_1 - \lambda_{10} = \xi_1, \lambda_2 - \lambda_{20} = \xi_2, \dots, \lambda_n - \lambda_{n0} = \xi_n, \quad (17)$$

перепишем равенство (16) так:

$$\Delta p(\tau) = \xi_1 \sin \omega\tau + \xi_2 \sin 2\omega\tau + \dots + \xi_n \sin n\omega\tau. \quad (18)$$

С учетом новых обозначений (17) равенство (15) запишется в виде

$$p(\tau) = (\lambda_{10} + \xi_1) \sin \omega\tau + (\lambda_{20} + \xi_2) \sin 2\omega\tau + \dots + (\lambda_{n0} + \xi_n) \sin n\omega\tau. \quad (19)$$

Акустический сигнал с диаграммой звукового давления, описываемой формулой (19), примем в роли вектора  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  пространства  $R^n$ .

Пусть вектору  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  соответствует акустический сигнал с диаграммой звукового давления

$$p_x(\tau) = (\lambda_{10} + \xi_1) \sin \omega\tau + (\lambda_{20} + \xi_2) \sin 2\omega\tau + \dots + (\lambda_{n0} + \xi_n) \sin n\omega\tau, \quad (20)$$

а вектору  $y = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$  — сигнал с диаграммой  $p_y(\tau) = (\lambda_{10} + \eta_1) \sin \omega\tau + (\lambda_{20} + \eta_2) \sin 2\omega\tau + \dots + (\lambda_{n0} + \eta_n) \sin n\omega\tau$ . Тогда суммарному вектору  $x + y = (\xi_1 + \eta_1, \xi_2 + \eta_2, \dots, \xi_n + \eta_n)$  соответствует акустический сигнал с диаграммой звукового давления  $p_{x+y}(\tau) = (\lambda_{10} + \xi_1 + \eta_1) \sin \omega\tau + (\lambda_{20} + \xi_2 + \eta_2) \sin 2\omega\tau + \dots + (\lambda_{n0} + \xi_n + \eta_n) \sin n\omega\tau$ .

Нетрудно видеть, что

$$p_{x+y}(\tau) = p_x(\tau) + p_y(\tau) - p_0(\tau). \quad (21)$$

Пусть, далее, вектору  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  соответствует сигнал с диаграммой  $p_x(\tau)$ , определяемой формулой (20). Тогда произведению  $\alpha x = (\alpha\xi_1, \alpha\xi_2, \dots, \alpha\xi_n)$  вектора  $x$  на вещественное число  $\alpha$  соответствует сигнал с диаграммой

$$p_{\alpha x}(\tau) = (\lambda_{10} + \alpha\xi_1) \sin \omega\tau + (\lambda_{20} + \alpha\xi_2) \sin 2\omega\tau + \dots + (\lambda_{n0} + \alpha\xi_n) \sin n\omega\tau.$$

Нетрудно видеть, что

$$p_{\alpha x}(\tau) = (1 - \alpha)p_0(\tau) + \alpha p_x(\tau). \quad (22)$$

Из формулы (19) следует, что в пространство  $R^n$  нами включены далеко не все акустические сигналы, для которых

применимо понятие громкости. Здесь вовсе не представлены нестационарные сигналы. Из числа стационарных сигналов представлены шумы. В пространстве  $R^n$  содержатся лишь периодические сигналы, однако далеко не все. Все сигналы имеют один и тот же период  $1/\omega$ , гармоники сигнала не имеют сдвига по фазе. Такие ограничения пришлось наложить на множество рассматриваемых акустических сигналов в связи с большой сложностью изучаемого нами объекта. Если бы мы не ввели столь жестких ограничений на множество входных сигналов органа слуха, то столкнулись бы с непосильной задачей. Кроме упомянутых, мы введем еще одно существенное ограничение на множество входных сигналов слухового анализатора, заключающееся в том, что значения компонентов  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  вектора  $x$ , фигурирующих в формуле (20), будем брать небольшими по сравнению с величинами  $\lambda_{10}, \lambda_{20}, \dots, \lambda_{n0}$ . Это означает, что мы ограничиваемся изучением реакций слухового анализатора на акустические сигналы, лежащие лишь в окрестности сигнала  $p_0(\tau)$ , т. е. изучаем работу слухового анализатора «в малом». С последним ограничением связано еще одно существенное ограничение множества входных сигналов, заключающееся в необходимости фиксации амплитуд  $\lambda_{10}, \lambda_{20}, \dots, \lambda_{n0}$  всех гармоник акустического сигнала  $p_0(\tau)$ , играющего роль относительного нуля (центра) изучаемой области сигналов.

**Список литературы:** 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Начала теории интеллекта. Проблемы и перспективы. — Деп. ВИНТИ, 1982, № 5324—82. — 210 с. 2. Люстерник Л. А., Соболев В. И. Элементы функционального анализа. — М.: Наука, 1965. — 520 с.

*Поступила в редколлегию 20.12.81*

УДК 519.76 : 681.3

*А. И. КАНТЕМИР*

## **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ОПОЗНАВАНИИ ДИКТОРА**

При построении автоматических систем опознавания дикторов самым важным является выбор параметров речевого сигнала, способных наилучшим образом описать индивидуальность голоса. Для того чтобы отыскать эти параметры, необходимо выяснить, какими субъективными признаками пользуются аудиторы при распознавании ими тех или иных голосов. Было установлено [1, 2], что существует три некоррелированных между собой и обладающих большой информационной ценностью признака. Один из них связан с громкостью, другой — с основным тоном голоса и третий — со скоростью речи.

Рассмотрим последовательность преобразований речевого сигнала и выясним, на каком этапе возможно получение объек-

тивных признаков, отражающих громкость, основной тон голоса и скорость речи. Сразу после микрофона исходный речевой сигнал с помощью аналого-цифрового преобразователя преобразуется в параметрический код. Один и тот же речевой сигнал, произнесенный одним и тем же диктором, может быть представлен различным параметрическим кодом. Это происходит из-за нестабильности условий записи, в частности, это зависит от расстояния между микрофоном и губами, от коэффициента усиления микрофонного усилителя, потерь в канале связи и т. д. Все это приводит к необходимости включения нормализующих процедур для выравнивания интенсивности сигнала. Известно, что речевой сигнал представляет собой последовательность элементарных сегментов. Элементарный сегмент — это один период колебания сложной формы, несущий всю информацию о фонетической принадлежности звука.

После нормирования сигнала по уровню элементарные сегменты все же отличаются один от другого своими амплитудными значениями. Эти отличия проходят от сегмента к сегменту и образуют набор признаков, характеризующих функцию громкости. Таким образом, на данном этапе удастся зафиксировать объективные признаки, связанные с громкостью речевого сигнала.

На следующем этапе отнормированный речевой сигнал, представленный параметрическим кодом, преобразуется с учетом психофизического эффекта сглаживания в слухе [3] в последовательность стандартных импульсов. Установлено, что в таком представлении сигнала содержится вся регистрируемая человеческим ухом информация исходного сигнала. Необходимость такого преобразования объясняется, с одной стороны, удобством машинной обработки дискретизированного речевого сигнала, с другой — тем, что единственным информативным элементом в речевом сигнале, представленном последовательностью стандартных импульсов, является только временной интервал. При этом отпадает необходимость поиска наиболее стабильных и информативных физических характеристик сигнала.

Ниже представлена в качестве примера выборка звука «А». Под выборкой будем понимать результат преобразования речевого сигнала на заданном интервале времени.

```

1000100101010101010101111111111111101010000000000000010101
01111101010101010100000000000001010101111111111010101001001
0000000000010010101010101010001000000000010010010100100100
0010010011010101010111111111111111101010000000000000010101
111111010101010010000000000000010101011111111111010101000000
000000010010010101010101010100100000000000100101010100100010
0010010101010101011111111111111111010000000000000000010101011
10101010101010100100000000000001010111111111111010101000000
00000010001000000110101010101000100010000000000010010101010

```

Все многообразие структур временных отношений (комбинаций нулей и единиц) можно свести к конечному числу базовых блоков по признаку стационарности последовательностей двоичных элементов.

Будем различать: 1) стационарные блоки единиц, т. е. непрерывные последовательности единиц; 2) стационарные блоки нулей, т. е. непрерывные последовательности нулей; 3) нестационарные блоки, т. е. произвольные комбинации и последовательности двоичных элементов в пространстве выборки.

Исходя из принципа преобразования [4], нетрудно заметить что блок единиц — это проекция на оси времени среза осциллограммы звукового давления в области максимального амплитудного значения. Не исключено, что этот параметр используется слуховым анализатором человека в качестве репера при обработке речевых сигналов.

Анализируя характер взаиморасположения базовых блоков в пространстве выборки, можно легко определить, что после каждого блока единиц поочередно могут следовать несколько блоков нулей и несколько нестационарных блоков. Поэтому будем использовать блок единиц в качестве своеобразного репера или признака границ элементарного сегмента. Правомерность сказанного подтверждается, с одной стороны, тем, что в пространстве каждой выборки формации, ограниченные блоками единиц, образуют последовательность взаимоподобных структур что позволяет сделать вывод о наличии периодического процесса. С другой стороны, длительность каждого такого периода соответствует среднему значению длительности одного периода колебания основного тона голоса диктора. Другими словами, измеряя длительность каждого элементарного сегмента, можно получить значение периода основного тона голоса.

Основной тон отличается у психически здоровых людей неустойчивостью. Отсутствие модуляции голоса встречается только у психически больных людей. Имеется в виду не правильное повышение или понижение тона при фонации, а беспорядочное модулирование, состоящее в том, что следующие один за другим периоды не строго одинаковы по длительности. Образование основного тона, следовательно, это не стационарный, а квазистационарный процесс. Поэтому параметрами, характеризующими индивидуальный голос, следует считать не только среднее значение периода основного тона, но и характер динамического изменения тона в пределах конкретной выборки, т. е. его мелодическую картину.

Выясним теперь признаки, отражающие скорость речи. Одинаковые речевые сигналы, произнесенные разными дикторами, различаются между собой благодаря различиям геометрических форм и размеров речевого тракта и отдельных артикуляторов. Ряд физиологических особенностей артикуляторов порождает

такое свойство, как инерционность. Мобильность артикуляторов, или максимальная их частота, колеблется в больших пределах в зависимости от их вида. Это обстоятельство накладывает свой отпечаток как на ритмику, так и на темп речи. Максимальная скорость речи ограничена пределами подвижности артикуляторов, а максимальная скорость движения артикуляторов снижается в процессе речи для осуществления вдоха и выдоха.

Когда говорят о темпе речи, то обычно имеют в виду относительную скорость произнесения отдельных слов в синтагмах. Но так как основным этапом в организации процесса речеобразования является управляемая центральной нервной системой человека программа комплекса артикуляторных движений, соответствующих тому сообщению, передача которого планируется данным индивидуумом в данный момент времени, можно предположить, что информация о скорости речи заложена уже на уровне слов и даже на уровне фонем, а следовательно, в двоичном представлении речевого сигнала должны присутствовать параметры, характеризующие скорость речи. Для нахождения этих параметров рассмотрим кратко процедуру преобразования речевого сигнала в последовательность стандартных импульсов.

Метод дискретизации речевого сигнала с учетом психофизического эффекта сглаживания в слухе, основан на выработке стандартного импульса прямоугольной формы при сравнении площади под кривой нормированного по абсолютному уровню речевого сигнала с некоторым заданным и постоянным значением площади при наличии импульса тактовой частоты, определяющей шаг дискретизации. Таким образом, стандартный импульс будет сформирован в том случае, если площадь под кривой осциллограммы речевого сигнала сравняется с некоторой наперед заданной элементарной площадью. Понятно, что необходимая площадь под кривой накопится тем быстрее, чем больше скорость образования сигнала. Следовательно, микровременная структура (комбинации нулей и единиц) несет информацию о скорости речи.

Помимо того что все перечисленные выше параметры речевого сигнала обладают высокой информационной эффективностью, они характеризуются рядом других важных свойств: легко измеряемы, стабильны во времени и не поддаются имитации (особенно микровременная структура). Все это позволяет конструировать сравнительно простые и высокоэффективные системы автоматической верификации и идентификации личности по голосу.

**Список литературы:** 1. *Stevens K. N., Williams C. E., Carbonell L. R.* Speaker authentication and identification. A comparison of spectrographic and auditory presentation of speech materials. — *JASA*, 1968, 44, № 6, p. 7—15. 2. *Voirs W. D.* Perceptual Bases of identity — *JASA*, 1964, 36, № 6, p. 4—9. 3. *Абрамов О. М., Дрюченко А. Я., Усенко С. А.* Эффект сглаживания в слухе. — *Проблемы бионики*, 1977, вып. 19, с. 31—37. 4. *А. с. 991492 (СССР).*

УДК 62.506.2

И. В. КОМАРКОВА, В. Я. ТЕРЗИАН

## АЛГОРИТМ РАЗРЕШЕНИЯ МЕСТОИМЕНИЙ В СИСТЕМАХ МАШИННОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВ

Важной задачей семантического анализа текстов является задача разрешения местоимений, т. е. замены их соответствующими объектами [1].

Естественная информация поступает в естественноязыковую систему по-разному: отдельными фактами, а чаще — совокупностью фактов (текст). Если в первом случае объекты, упомянутые в предложении, должны быть строго определены: ЛЕС, КОЛЯ, СТОЛ, КНИГА и т. д., то во втором случае те или иные объекты при неоднократном упоминании о них могут заменяться словозаменителями — местоимениями. Но в каждом случае появляется вопрос: какие же объекты заменяют каждое местоимение? Прежде чем ответить на этот вопрос, дадим следующую классификацию местоимений [2]: 1) личные: я, ты, он, она, они, мы, вы, ..., 2) притяжательные: мой, ваш, его, твой, их ...; 3) указательные: этот, тот, туда, оттуда, ...; 4) возвратные: себя, свой, ...; 5) порядковые: один, другой, первый, второй, ... (в случае, когда они не являются числительными).

Пока мы считаем достаточным ограничиться рассмотрением этих пяти классов. Коротко охарактеризуем местоимения каждого класса.

1. *Личные*. Характеристики: число, род, одушевленность соответствующего объекта (эти характеристики, если они могут быть определены, ускоряют процесс поиска эквивалента данного местоимения, причем одушевленность, как правило, определяется по семантике глагола).

Тип эквивалента: имя существительное.

Эквивалентом местоимения *я (мы)* является (являются) лицо (лица), ведущее (ведущие) рассказ. Например: «И я проснулся», — закончил Петя».

Аналогично эквивалентом местоимения *ты (вы)* является (являются) лицо (лица), к которым обращается рассказчик. Например: «Люблю тебя», — шепнул Матвей Вале».

Эквивалентами же местоимений *он, она, они* могут служить любые объекты или объекты, упомянутые в тексте, и соответствие между местоимением и его эквивалентом устанавливается путем семантического анализа текста посредством определенного метода. Например: «Петя вошел в дом. Он разделся и сразу же лег спать».

Естественно, никакой анализ не сможет найти эквивалент для местоимения в случае, когда это бессилно сделать даже человеческий мозг. С этим явлением мы сталкиваемся в подобных случаях: «Маша подарила Оле цветы. Ей было очень приятно». Трудно сказать: кому же все-таки было приятно?

Следует также отметить тот факт, что одно и то же местоимение может в одном и том же тексте (реже в одном и том же предложении) иметь различные эквиваленты. Например: «Коля взял у Кати книгу. Он прочитал ее книгу. Коля отдал ее Пете». Одно и то же местоимение «ее» в данном тексте имеет два разных эквивалента: «Катя» и «Книга».

2. *Притяжательные*. Характеристики: число, род, одушевленность.

Тип эквивалента: имя существительное.

Данный класс является производным от класса личных местоимений. Для этого класса местоимений заметим, что местоимения *его, ее, их* в одних случаях являются личными, в других — притяжательными. Например: «Коля хорошо пел. Его любили слушать». Его — личное местоимение. «Коля встретил Катю. Она отдала его книгу Пете». Его — притяжательное местоимение.

3. *Указательные*. Характеристики: число, род.

Этот класс отличается от других тем, что конкретизирует, т. е. выделяет из общей совокупности объектов, имеющих одно имя, именно тот, который либо сам совершал действие, либо над ним совершали действие. Например: «Лена играла вальс Шопена. Эта девочка бесспорно талантлива». Или: «Петя достал с полки книгу. Он отдал эту книгу Коле».

4. *Возвратные*. Характеристики: число, род. Эквивалентом является во всех случаях субъект, выполняющий действие. Например: «Коля взял для себя портфель в шкафу».

5. *Порядковые*. Характеристики: число, род, одушевленность.

Тип эквивалента: существительное, прилагательное. Причем общий эквивалент обязательно состоит из нескольких объектов единственного числа или является множественным числом.

Например: «Петя и Вася закончили школу. Один с золотой медалью, другой — без». Общим эквивалентом является «Петя+Вася». Возможны две комбинации: «Петя кончил с медалью, Вася — без» и «Вася кончил с медалью, Петя — без». Оба варианта семантически верны. Если бы наш пример изменить: «Петя и Вася закончили школу. Первый с медалью, Вася — без», то эквивалент «первый» — «Петя».

В случае, когда эквивалент представлен множественным числом, мы в процессе разрешения данные местоимения переводим в числительные.

Например: «Дети пошли в школу. Один раньше, другой позже». Общим эквивалентом дети, множественное число, одушевленный. Но в нашем тексте не уточняется «состав» слова «дети»

и в этом случае мы, пользуясь ТВ-структурой (структурой морфологического анализа) [3], преобразуем множественное число «дети» в единственное «ребенок» и переводим местоимения в числительные: «Дети пошли в школу. Один ребенок раньше, другой ребенок позже».

Может быть случай, когда сами местоимения 5-го класса встречаются во множественном числе. Например: «Дети шли на демонстрацию. Одни с флажками, другие с шариками». В этом случае мы общий эквивалент «дети» оставляем без изменения, а местоимения преобразуем в числительные: «Дети шли на демонстрацию. Одни дети с флажками, другие дети с шариками».

*Рассмотрим общий алгоритм разрешения местоимений, т. е. однозначного определения их эквивалентов, разработанный на базе действующей естественной языковой системы ДЕСТА [3].*

1. Выделение всех местоимений в предложении.
2. Определение типа местоимений и их характеристик.
3. Определение типа эквивалента.
4. Проверка на одновременную уместность (выживаемость).
5. Проверка на порядок.
6. Просмотр текста от последнего местоимения к началу и выбор нужного числа эквивалентов.
7. Определение возможных подстановок эквивалентов.
8. Подключение подсистемы понимания и проверки на истинность каждой возможной подстановки эквивалентов. Если подсистема понимания выявит противоречие в предложении с данным вариантом эквивалента, то переходим к п. 9. В противном случае система переходит к следующему местоимению (если оно есть); если его нет, то продолжает работу над текстом.
9. Переходим к другому варианту эквивалента. Перейти к п. 8.

Сделаем некоторые пояснения по данному алгоритму.

1) Выделение местоимений производится при помощи поиска в словаре нетерминальных символов [3], в котором местоимения выделены в отдельный класс.

2) Определение типа местоимений определяется также по словарю нетерминальных символов, в котором местоимения разбиты на подклассы.

Характеристики местоимений (или морфолого-синтаксическая информация) определяются при помощи ТВ-структуры, через которую вместе с другими словоформами пропускаются и местоимения. Одушевленность или неодушевленность определяется на уровне семантического анализа по валентности (т. е. набору вопросов, на которые отвечают участники действия) глагола. Например: «Петя рубит тополь. Он его рубит уже полчаса». Валентность (рубить) = (кто, что-в). Следовательно, местоимение «он» относится к одушевленному объекту, а «его» — к неодушевленному, т. е.: «Петя тополь рубит уже полчаса».

3) Определение типа эквивалентов и их характеристик производится с целью замены местоимений допустимыми по типу и характеристикам эквивалентами. Тип и характеристики эквивалентов определяются с помощью ТВ-структуры.

4) Проверка на одновременную уместность означает, что если в предложении встречаются личные местоимения с притяжательными или возвратными, то необходимо проверить, не соответствует ли парам: личное, возвратное; личное, притяжательное один эквивалент. Например: «Коля с Машей встретились в классе. Он отдал ей ее портфель и забрал свою ручку».

5) Проверка на порядок. Если в сложноподчиненном предложении есть конструкции типа:

ТОТ ..., КОТОРЫЙ ...

(согласуются в числе и роде)

ТУДА ..., ГДЕ ...

ТУДА ..., КУДА ...

ОТТУДА ..., ОТКУДА ...,

то местоимениям «тот», «туда», «оттуда» ставятся в соответствие те эквиваленты, которые обладают признаками, перечисленными после слов «который», «где», «куда», «откуда». Если в предложении встретится возвратное местоимение, то ему соответствует объект, выполняющий действие. Например: «Петя отдал Коле свою ручку» или «Коле свою ручку дал Петя» (т. е. независимо от того, где стоит местоимение — до или после эквивалента).

6) Выбор нужного числа эквивалентов определяется по числу местоимения (единственное или множественное): т. е. если местоимение у нас единственного числа, то, естественно, ему будет соответствовать один эквивалент также в единственном числе.

Если же местоимение во множественном числе, то эквивалентом его может служить:

а) один объект или субъект также во множественном числе;

б) несколько объектов или субъектов в единственном или множественном числе.

Например: «Коля учится в 10-А классе. Лена учится в 10-А классе». Они сидят за одной партой». Эквивалентом местоимения ОНИ служит «Коля + Лена».

Другой пример: «Котята не умели плавать. Все они утонули». Эквивалент местоимения ОНИ — «котятка». Или «Дубы, березы, клены ... Они радовали глаз горожанина».

7) Определение возможных подстановок эквивалентов говорит о том, что характеристики эквивалентов в каждой подстановке должны соответствовать характеристикам местоимений.

8) Каждая возможная подстановка проверяется на уровне семантического анализа и считается допустимой, если понимается системой на синтаксическом и семантическом уровнях понимания.

Возможны случаи, когда на выходе после проверки на «смысл» получаются две или более истинных гипотезы. Например: «Встретились Петя и Вася. Он поздравил его с днем рож-

дения». Обе подстановки: «он — Петя, его — Васю и он — Вася, его — Петю» семантически верны.

Рассмотрим работу системы на примере анализа личных местоимений 3-го лица единственного и множественного числа: «он», «она», «оно», «они» в различных падежах.

Все местоимения в системе ДЕСТА относятся к нетерминальным символам и образуют в NTV-словаре, т. е. словаре нетерминальных символов, отдельный класс.

Рассмотрим алгоритм работы процедуры разрешения личных местоимений на конкретном примере. Пусть в систему введен текст: «Оля имеет вазу. Лена подарила Оле цветы. Она поставила их в вазу». Прежде, т. е. до момента получения этого примера, в базе знаний системы хранились в виде *R*-представлений [3] такие знания:

Чтобы подарить, необходимо иметь, что дарить.  $M1$ : кто (дарить, по) = (X1);  $M2$ : что-д. (X1) = (дарить, по);  $M3$ : что-в (дарить, по) = (X2).  $\Phi1 = M1 \& M2 \& M3$ .  $M4$ : кто (иметь) = (X1);  $M5$ : что-д. (X1) = (иметь);  $M6$ : что-в (иметь) = (X2);  $\Phi2 = M4 \& M5 \& M6$ . усл. ( $\Phi1$ ) = ( $\Phi2$ ), где  $M_i$  — метки синтаксико-семантических отношений (ССО),  $\Phi_i$  — метки фактов, усл. — семантическое отношение (СМНО) «условие»,  $X_i$  — предметные переменные [3].

В результате действия подарить тот, кто дарит, не имеет то, что дарит, а тот, кому дарит, имеет то, что дарит.  $M6$ : кому (дарить, по) = (X3);  $\Phi3 = M1 \& M2 \& M3 \& M6$ ;  $M7$ : кто (иметь, не) = (X1)  $M8$ : что-д. (X1) = (иметь, не);  $M9$ : что-в (иметь, не) = (X2).  $\Phi4 = M7 \& M8 \& M9$ ;  $M11$ : кто (иметь) = (X3);  $M12$ : что-д. (X3) = (иметь).  $\Phi5 = M11 \& M12$ . Рез. ( $\Phi3$ ) = ( $\Phi4 \& \Phi5$ ), где рез. — СМНО «результат».

Чтобы что-то куда-то поставить, необходимо иметь то, что поставить, и иметь куда поставить:  $M13$ : кто (ставить, по) = (X4);  $M14$ : что-д. (X4) = (ставить, по)  $M15$ : что-в (ставить, по) = (X5);  $M16$ : куда, в (ставить, по) = (X6).  $\Phi6 = M13 \& M14 \& M15 \& M16$ .  $M17$ : кто (иметь) = (X4)  $M18$ : что-д. (X4) = (иметь);  $M19$ : что-в (иметь) = (X5);  $M20$ : что-в (иметь) = (X6).  $\Phi7 = M17 \& M18 \& M19$ .  $\Phi8 = M17 \& M18 \& M20$ . Усл. ( $\Phi6$ ) = ( $\Phi7 \& \Phi8$ ).

В результате действия поставить что-то во что-то то, что ставят, находится в том, куда ставят.  $M21$ : что (находиться) = (X5);  $M22$ : что-д. (X5) = (находиться);  $M23$ : где, в (находиться) = (X6).  $\Phi9 = M21 \& M22 \& M23$ . Рез. ( $\Phi6$ ) = ( $\Phi9$ ).

Когда в систему поступил пример, она на основе имеющейся базы знаний приступает к анализу текста и преобразует в *R*-представление: «Оля имеет вазу».  $M30$ : кто, она (иметь) = (Оля);  $M31$ : что-д. (Оля) = (иметь);  $M32$ : что-в (иметь) = (ваза).  $\Phi10 = M30 \& M31 \& M32$ .

Затем система анализирует второе предложение: «Лена подарила Оле цветы».  $M33$ : кто, она (дарить, по) = (Лена).  $M34$ :

то-д. (Лена) = (дарить, по); M35: что-в (дарить, по) = (цветы); M36: кому (дарить, по) = (Оля).  $\Phi 11 = M33 \& M34 \& M35 \& M36$ .

Сравнивая с базой знаний  $\Phi 11$ , система делает вывод, что: «Лена не имеет цветы». «Оля имеет цветы», т. е. M37: кто, она иметь, не) = (Лена). M38: что-д. (Лена) = (иметь, не). M39: что-в (иметь, не) = (цветы).  $\Phi 12 = M37 \& M38 \& M39$ . M30: кто, она (иметь) = (Оля). M31: что-д. (Оля) = (иметь). M42: что-в (иметь) = (цветы).  $\Phi 13 = M30 \& M31 \& M42$ , т. е. рез. ( $\Phi 11$ ) = ( $\Phi 12 \& \Phi 13$ ).

И, наконец, система переходит к анализу третьего предложения.

Используя алгоритм разрешения местоимений, система делает вывод, что эквивалент местоимения «их» есть «цветы». Эквивалентом же местоимения «Она» могут служить два существительных: «Оля» и «Лена». Но, используя семантическое отношение условие, определенное в базе знаний для действия «поставить», система приходит к выводу, что этому отношению удовлетворяет вариант: «Оля поставила цветы в вазу».

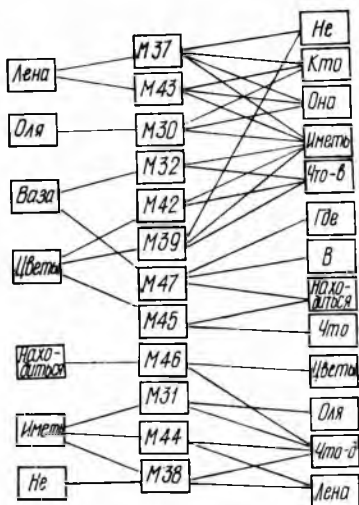


Рис. 1

Весь текст во внутреннем представлении будет выглядеть в виде набора ситуаций, имеющих место в последовательные моменты времени: T0: Лена имеет цветы. Оля имеет вазу.

T1: Лена не имеет цветы. Оля имеет цветы.

T2: Лена не имеет цветы. Оля имеет цветы. Оля имеет вазу.

Цветы находятся в вазе.

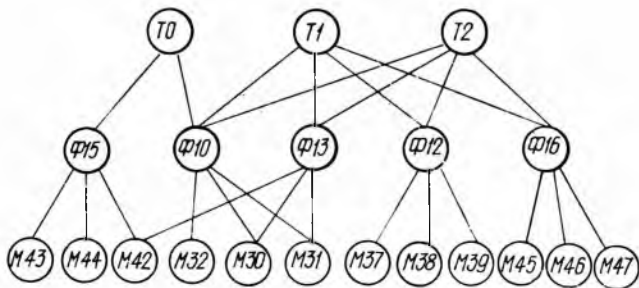


Рис. 2

С-структура имеет вид (рис. 1, 2) [3]. Итак, мы рассмотрели, какие процедуры вывода используются при разрешении личных

местоимений. Как и другие классы процедур вывода, данный класс управляется метапроцедурой, которая обслуживает весь процесс разрешения местоимений.

**Список литературы:** 1. Терзиян В. Я. Анализ, семантическая нормализация и идентификация естественноязыковых текстов.— В кн.: Интерактивные системы: Тез. докл. и сообщ. 4-й школы-семинара. Тбилиси, 1982, с. 219—221. 2. Русская грамматика. В 2-х т.— М.: Наука, 1980.— 784 с. 3. Ловицкий В. А. Диалоговая естественноязыковая система принятия решений.— Х.: Ротапринт ХПИ, 1981.— 110 с.

Поступила в редколлегию 17.11.83.

УДК 681.518

Е. П. ПУТЯТИН, д-р техн. наук, В. П. МАШТАЛИР, А. А. МАЙСТРЕНКО

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА НОРМАЛИЗАЦИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ ПЛОСКОСТИ

Алгоритмы анализа последовательности изображений широко используются при динамическом управлении технологическими процессами в промышленности, слежении за облаками в метеорологии, управлении высокоскоростным движением на транспорте и т. д. [1]. Одной из первостепенных проблем является нормализация изображений, т. е. компенсация найденных параметров их геометрических преобразований. Преобразования возникают вследствие изменения в пространстве местоположения и ориентации объекта или датчика видеоинформации. Сокращая множество координатных описаний изображений, нормализация часто позволяет сводить задачу распознавания к сравнению с эталоном, дает возможность оценивать трехмерные преобразования объектов.

Здесь описывается разработка алгоритма определения параметров проективных преобразований изображений.

Пусть  $(G, X, T)$  — группа преобразований;  $G$  — группа вещественных матриц третьего порядка,  $G \in GL(3, R)$ ;  $X$  — линейное пространство;  $X \subset R_2$ ,  $T: G \times X \rightarrow X$  — действие группы  $G$  на  $X$ ,  $T(g, T(h, x)) = T(gh, x)$ ,  $\forall g, h \in G$ ,  $\forall x \in X$ ,  $T(e, x) = x$ ,  $\forall x \in X$ ;  $e$  — единица группы  $G$ .

Определим в некоторой ограниченной области  $D \subset R_2$  функцию распределения яркостей  $B(x) \in C_1(D)$ ,  $x \in R_2$ . Далее функцию  $B(x)$  будем называть изображением. Пусть  $M = \{B(x)\}$  — множество изображений. Действие группы  $G$  в  $D$  порождает разбиение множества  $M$  на классы  $m_\alpha$  такие, что  $\bigcup_{\alpha} m_\alpha = M$ ,  $m_\alpha \cap m_\beta = \emptyset$  при  $\alpha \neq \beta$ ;  $m_\alpha = m_\beta$  при  $\alpha = \beta$ . Изображение  $B_0(x)$  в некоторый начальный дискретный момент времени будем считать эталоном  $B_0(x) = B(T(e, x))$ . Необходимо найти параметры группы  $G$ , связывающие изображение  $B_n(x)$  в момент времени  $n$

с эталоном  $B_0(x)$  при условии их принадлежности одному классу эквивалентности  $m_\alpha$ . Очевидно, что  $B_n(x) = B_0(T(h, x))$ , где  $h = g_1 g_2 \dots g_n$  и  $B_i(x) = B_{i-1}(T(g_i, x))$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Предположим, что группа  $G$  действует эффективно, т. е.  $T(g, x) = x$  только при  $g = e$  и преобразования не выводят изображения из области  $D$ . Пусть, кроме того,  $|a_{ij} - \delta_{ij}| < \varepsilon$  (1) для некоторого малого  $\varepsilon > 0$ , где  $A = (a_{ij}) \in G$  — матрица преобразования;  $i, j = \overline{1, 3}$ ;  $\delta_{ij}$  — символ Кронекера. При таком предположении можно считать, что преобразования объекта в  $R_3$  почти всегда не меняют класса эквивалентности его изображений в  $R_2$ .

Введем в области  $D$  систему координат  $xy$ , тогда действие группы  $G \in GL(3, R)$  определяется следующим образом:

$$x = uz^{-1}|_{z=1}, \quad y = vz^{-1}|_{z=1}, \quad (\hat{u}, \hat{v}, \hat{z}) = (a_{ij})(u, v, z)^T,$$

где  $(a_{ij}) \in GL(3, R)$  и  $\det(a_{ij}) \neq 0$ . Ограничившись проективными преобразованиями, получаем

$$B_1(x, y) = B_0(T_1(g, x), T_2(g, x)) = B_0 \left( \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}}, \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \right), \quad (2)$$

Отметим, что при геометрических преобразованиях (2) значения яркости изображения в точке  $(x, y)$  переносятся в точку  $(T_1(g, x), T_2(g, x))$ . Тогда, учитывая ограничения (1) и то, что группа проективных преобразований является восьмипараметрической группой Ли (при этом коэффициент  $a_{33}$  несущественен и считается  $a_{33} = 1$ ) [2], получаем

$$B_1(x, y) - B_0(x, y) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{ij} \left( \frac{\partial T_1}{\partial a_{ij}} \Big|_{g=e} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial T_2}{\partial a_{ij}} \Big|_{g=e} \frac{\partial}{\partial y} \right) B_0(x, y), \quad (\beta_{ij}) = e - (a_{ij}), \quad (3)$$

где  $e$  — единичная матрица третьего порядка. Выражения в круглых скобках являются инфинитезимальными операторами группы Ли, действующей на плоскости. Аналогичная связь существует между изображениями  $B_i(x, y)$  и  $B_{i-1}(x, y)$ ,  $i = \overline{2, n}$ .

Произведя необходимые вычисления, получаем следующие соотношения для любых точек  $x, y$ , принадлежащих области  $D$ :

$$B_1(x, y) - B_0(x, y) = (a_{11} - 1)x \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial x} + a_{12}y \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial x} + a_{13} \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial x} + a_{21}x \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial y} + (a_{22} - 1)y \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial y} +$$

$$\begin{aligned}
 & + a_{23} \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial y} - a_{31} \left( x^2 \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial x} + xy \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial y} \right) - a_{32} \times \\
 & \times \left( xy \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial x} + y^2 \frac{\partial B_0(x, y)}{\partial y} \right). \quad (4)
 \end{aligned}$$

Учитывая цифровой способ представления изображений, получаем систему линейных уравнений с восемью неизвестными:  $\Delta B = CP$  (5). Здесь  $\Delta B$  — вектор размерностью  $N^2 \times 1$  разностей изображений в дискретных отсчетах в два последующих момента времени;  $N$  — количество дискретных отсчетов по осям  $Ox$  и  $Oy$ ;  $C$  — матрица коэффициентов размерностью  $N^2 \times 8$ , соответствующих правой части выражения (4);  $P$  — вектор неизвестных коэффициентов размерностью  $8 \times 1$ .

Отметим, что соотношения (4) совпадают с линейной частью разложения функции  $B_0(T_1(g, x), T_2(g, x))$  по степеням параметров проективной группы в окрестности тождественного преобразования.

Учитывая, кроме того, что на практике трудно определить связь  $\epsilon$  выражения (1) с возможностью найти точные значения коэффициентов преобразования (2) и то, что цифровая форма представления изображений может нарушать эффективность действия группы  $G$  [3], перепишем систему (5) в виде  $\Delta B = CP + F(P)$ , где  $F(P)$  — вектор ошибок, зависящий от  $P$ . Будем искать оценку  $\hat{P}$ , минимизирующую ошибку

$$\epsilon_m = \text{tr} \{ [\Delta B - C\hat{P}] [\Delta B - C\hat{P}]^T \}.$$

Здесь  $\text{tr} \{ \cdot \}$  обозначает след матрицы.

В силу условия о невырожденности проективных преобразований псевдообратная матрица получения оценки  $\hat{P}$  является матрицей обращения методом наименьших квадратов [4]. Тогда получаем

$$\hat{P} = C^{-} \Delta B, \quad \epsilon_m = \text{tr} \{ \Delta B \Delta B^T (I - CC^{-}) \},$$

где  $C^{-}$  — обобщенная обратная матрица;  $I$  — единичная матрица. При  $N > 8$   $C^{-} = (C^T C)^{-1} C$ , при  $N < 8$   $C^{-} = C^T (CC^T)^{-1}$ , при  $N = 8$   $C^{-} = C^{-1}$ . В случае  $CC^{-} = I$  получаем точное решение.

Рассмотрим пути понижения порядка системы (5) и ослабления ограничений (1). Выделим подмножество регулярных матриц третьего порядка  $G_{\text{чед}}$ . Для этого в дополнение к условию о невырожденности проективных преобразований потребуем, чтобы центроаффинные преобразования не были вырождены ( $\det \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \neq 0$ ) и  $a_{11} \neq 0$ . Тогда, воспользовавшись разложением Гаусса  $g = Z_- D Z_+$ , где  $g$  — матрица третьего порядка;  $Z_-$  —

подгруппа нижнетреугольных матриц;  $D$  — подгруппа диагональных матриц;  $Z_+$  — подгруппа верхнетреугольных матриц, получаем

$$B_1(x, y) = B_0(T'_1, (T'_2(T'_3(g, x)))) , T'_1(T'_2(T'_3(g, y))) .$$

Здесь  $T'_1, T'_2, T'_3, T''_1, T''_2, T''_3$  описывают действия указанных выше подгрупп  $Z_-, D, Z_+$ , т. е.

$$B_1(x, y) = B' \left( \frac{x}{b_{31}x + b_{32}y + 1}, \frac{b_{21}x + y}{b_{31}x + b_{32}y + 1} \right);$$

$$B'(x, y) = B''(b_{11}b_{33}^{-1}x, b_{22}b_{33}^{-1}y); \quad (6)$$

$$B''(x, y) = B_0(x + b_{12}y + b_{13}, y \neq b_{23}), \quad (7)$$

где  $b_{11} = a_{11}, \quad b_{12} = a_{12}a_{11}^{-1},$   
 $b_{22} = a_{21}a_{11}^{-1}, \quad b_{23} = (a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})a_{11}^{-1},$   
 $b_{31} = a_{33}a_{11}^{-1}, \quad b_{32} = (a_{32}a_{11} - a_{31}a_{12})(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})^{-1},$   
 $b_{13} = a_{13}a_{11}^{-1}, \quad b_{23} = (a_{23}a_{11} - a_{21}a_{13})(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})^{-1}, \quad (8)$   
 $b_{33} = 1 - a_{13}a_{31}a_{11}^{-1} - (a_{32}a_{11} - a_{31}a_{12})(a_{23}a_{11} -$   
 $- a_{21}a_{13})a_{11}^{-1}(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})^{-1}.$

Используя далее известные разложения треугольных матриц в однопараметрические подгруппы и комбинируя выражения (6) и (7), получаем

$$B_1(x, y) = B' \left( \frac{x}{c_{31}x + c_{32}y + 1}, \frac{y}{c_{31}x + c_{32}y + 1} \right); \quad (9)$$

$$B'(x, y) = B_0(c_{11}x + c_{12}y + c_{13}, c_{21}x + c_{22}y + c_{23}). \quad (10)$$

Здесь  $c_{11} = b_{11}b_{33}^{-1}, \quad c_{22} = (b_{12}b_{21}b_{11} + b_{22})b_{33}^{-1},$

$$c_{12} = b_{11}b_{21}b_{33}^{-1}, \quad c_{23} = (b_{13}b_{21}b_{11} + b_{22}b_{23})b_{33}^{-1},$$

$$c_{13} = b_{11}b_{13}b_{33}^{-1}, \quad c_{31} = b_{31} + b_{32}b_{21},$$

$$c_{21} = b_{21}b_{11}b_{33}^{-1}, \quad c_{32} = b_{32}. \quad (11)$$

Таким образом, отстроившись от аффинных преобразований (10), вместо системы (5) с восемью неизвестными получаем систему с двумя неизвестными  $c_{31}$  и  $c_{32}$ . При этом происходит ослабление условий (1), так как известные методы нормализации аффинных преобразований не требуют близости преобразования к тождественному. Коэффициенты соотношения (2) определяются при помощи выражений (11) и (8).

Если использовать разложение Гаусса  $g = Z_+ D Z_-$ , то, компенсировав преобразования (9), можно затем найти аффинитет (10).

В заключение отметим, что принадлежность последовательности изображений одному классу эквивалентности не наруша-

ет общности рассмотрения, так как при переходе к другому классу необходимо лишь анализировать новое изображение  $B_0(x)$ .

**Список литературы:** 1. *Image Sequence Analysis*. Ed by T. S. Huang.— Springer. Verlag, N-Y., 1981. — 438 p. 2. Чеботарев Н. Г. Теория групп Ли.— М.; Л.: ГИТТЛ, 1940. — 396 с. 3. Гороховатский В. А., Машталир В. П., Хитров Б. В. Исследование влияния дискретизации и квантования на точность алгоритмов нормализации.— АСУ и приборы автоматики, 1983, вып. 65, с. 11—15. 4. Прэйт У. Цифровая обработка изображений.— М.: Мир, 1982.— 310 с.

Поступила в редколлегию 24.11.82.

УДК 621.377.037.3

А. А. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, С. И. ГУБАРЕВ, канд. техн. наук,  
Л. А. СТЕЦЕНКО

### ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ СЖАТИЯ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Передача, хранение и отображение сообщений в информационных системах наиболее часто происходит с помощью текстов. Поэтому задача их оптимального кодирования представляет определенный практический интерес, рациональное решение которой позволяет разгрузить каналы связи и уменьшить требуемую емкость памяти информационных систем.

В статье развивается известный [1, 2] метод кодирования основанный на определении частоты появления буквенно-цифровых знаков в тексте и кодировании их с помощью кода Шеннона—Фано или Хаффмэна. Предлагается способ сжатия информации, основанный на определении подмножества массивов  $Y$ , выделяемых с некоторого множества  $X$  ограничениями  $P(U)$ .

Под массивом понимается последовательность буквенно-цифровых знаков (текст) длиной  $n$ , порождаемых алфавитом  $R = \{r_i\} \ i=1, 2, \dots, m$ , где  $m$  — количество знаков в алфавите. Текст можно рассматривать как совокупность знаков алфавита  $R$ , каждый из которых ( $r_i$ ) может содержаться в тексте некоторое число раз (от 0 до  $n$ ). Длина массива с их учетом должна удовлетворять следующему условию:

$$n = \sum_{i=1}^m x(r_i), \quad (1)$$

где  $x(r_i)$  — число одноименных знаков в массиве длины  $n$ .

Число массивов в множестве  $Y$  определяется в соответствии с формулой для вычисления полиномиального коэффициента [3]:

$$N(Y) = \frac{n!}{x(r_1)! \dots x(r_1)! \dots x(r_m)!}. \quad (2)$$

Для определения вероятностей отображения зрительных знаков на первом такте кодирования множество  $Y$  разбивается знаками из алфавита  $R$  на классы эквивалентности  $\{Y(r_i(1)) \subseteq Y\}$ . Затем вычисляются количества массивов  $\{N(Y(r_i(1)))\}$ , входящие в каждый из них. При этом должно выполняться равенство

$$N(Y) = \sum_{i=1}^m N(Y(r_i(1))). \quad (3)$$

Определение  $N(Y(r_i(1)))$  произведем следующим образом. Будем считать, что кодирование  $r_i$ -го знака уже произошло. В этом случае длина массива уменьшилась на 1 и равна  $n' = n - 1$ . Число одноименных знаков  $x(r_i)$  также уменьшилось на 1 и равно  $x'(r_i) = x(r_i) - 1$ . Следовательно,

$$N(Y(r_i(1))) = \frac{(n-1)!}{x(r_i)! \dots (x(r_i) - 1)! \dots x(r_m)!}. \quad (4)$$

Для вычисления вероятностей  $\{P(r_i(1))\}$  на первом такте кодирования необходимо разделить значения  $N(Y(r_i(1)))$  в отдельности на  $N(Y)$ :

$$P(r_i(1)) = \frac{N(Y(r_i(1)))}{N(Y)} = \frac{x(r_i)}{n}. \quad (5)$$

Полученные вероятности  $\{P(r_i(1))\}$  позволяют произвести кодирование знака  $r_i(1)$  на первом такте известными методами оптимального кодирования.

После кодирования знака на первом такте и получения об этом знаке информации вероятности знаков на втором такте изменяется и, следовательно, необходимо их доопределение. Оно происходит по аналогии с рассмотренным выше способом их вычисления применительно к новому множеству  $Y(r_i(1)) \subseteq Y$ .

Процесс кодирования продолжается до тех пор, пока  $n$  не станет равным нулю. Полученная совокупность кодов является оптимальной и содержит информацию о расположении знаков в тексте. Ее количество определяется из выражения

$$I(Y) = \log_2 N(Y). \quad (6)$$

Однако этой информации недостаточно для восстановления текста на приемном конце. Для его окончательного восстановления необходимо еще передать информацию о количестве содержащихся в нем одноименных знаков  $r_i$ . С этой целью передается массив одноименных знаков. Количество информации для этого массива определяется по формуле

$$I(R) = m[\log_2 n]. \quad (7)$$

Количество информации, передаваемое без ее сжатия, находится из выражения

$$I(X) = n[\log_2 m]. \quad (8)$$

Коэффициент сжатия определяется из равенства

$$K_{сж} = \frac{I(X)}{I(R) + I(Y)} = \frac{n[\log_2 m]}{m[\log_2 n] + \log_2 N(Y)}. \quad (9)$$

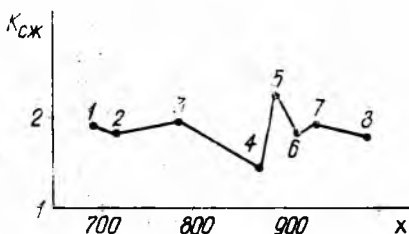
Из выражения (9) следует, что предлагаемый метод эффективен при  $n > m$ , что в основном соответствует реальным условиям работы информационной системы.

Таким образом, предлагаемый способ сжатия текстовой информации содержит следующие этапы: 1. Производится подсчет числа одноименных знаков  $x(r_i)$  из алфавита  $R$  в полученном тексте. 2. В соответствии с выражением (5) определяются вероятности знаков  $r_i$  на каждом такте кодирования. 3. Производится многотактное оптимальное кодирование сжимаемого массива.

Отличительные особенности предлагаемого способа сжатия текстовой информации заключается в том, что оптимальное кодирование является не однотактным процессом, а многотактным, причем результат каждого последующего такта кодирования зависит от всех предыдущих; используется не частота появления букв в тексте, а вычисляются их вероятности на каждом такте кодирования.

Исследовалась специализированная информационная система, предназначенная для отображения реферативной информации. Эта информация хранилась в виде массивов длиной около

1024 буквенно-цифровых знаков. Были подсчитаны количества одноименных зрительных знаков в текстах случайно выбранных рефератов и определены для них коэффициенты сжатия. Эти коэффициенты для различных рефератов приведены на рисунке. Сжатие информации для них происходит



примерно в два раза, что представляет существенный эффект для многих информационных систем.

Итак, разработан способ сжатия текстовой информации, позволяющей увеличить пропускную способность информационной системы и уменьшить емкость ее памяти.

**Список литературы:** 1. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь. Пер. с англ./Под. ред. М. С. Пинскара и Б. С. Цыбакова.— М.: Сов. радио, 1974.— 719 с. 2. Кузьмин И. В., Кедров В. А. Основы теории информации и кодирования.— К.: Вища школа, Головное изд-во, 1977.— 279 с. 3. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера.— К.: Техніка, 1975.— 766 с.

Поступила в редколлегию 08.12.83.

*Н. Н. БУСЛИК, Э. А. ДЕДИКОВ*, канд. техн. наук,  
*Л. А. ЧУРИЛОВА*

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СРЕДЕ БАЗ ДАННЫХ**

Возможности автоматизации различных информационных процессов являются основными научно-техническими предпосылками для развития АСУ предприятиями, отраслями, регионами. Благодаря разработанным техническим средствам и широкому использованию систем управления базами данных (СУБД) можно коренным образом изменить технологию выполнения информационных процессов в управлении, создавая автоматизированные системы обработки данных (АСОД). В предполагаемом подходе АСОД рассматривается как комплекс взаимосвязанных регулярно выполняемых задач обработки данных. При этом постановка каждой задачи осуществляется в среде баз данных конечным потребителем информации (пользователем) на языке высокого уровня, ориентированном на непрограммиста. Использование подобных входных языков СУБД [1, 2], с одной стороны, дает возможность проектировать задачи в короткие сроки и с небольшими затратами, а с другой, приводит к необходимости системной увязки спроектированных задач. Увязка проводится в интерактивном режиме системным проектировщиком (администратором базы данных) с привлечением пользователей и состоит в следующем: интеграция задач по информации, временная увязка задач, проектирование компромиссной схемы базы первичных данных.

Рассмотрим детальнее перечисленные этапы системного проектирования. Каждая задача обработки данных предполагает некоторую последовательность действий, направленную на получение и фиксацию в базе данных выходной информации (в представлении пользователя — выходного документа) на основании исходных документов. Описание структуры входных и выходных документов, а также алгоритмов получения последних осуществляется набором запросов к базе данных. Кроме того, каждая задача имеет такие характеристики, как имя пользователя, периодичность и сроки решения задачи, наименование подсистемы АСУ и т. п.

На этапе синтаксического анализа формальной постановки задачи проводится синтаксический разбор выражений языка постановки задач, контролируется семантическая целостность задачи (соответствие между атрибутами входных, выходных и промежуточных документов), выдаются диагностические сообщения. В случае успешного завершения этапа задаче присваивается системный номер и далее начинается собственно системная увязка.

Формирование системы задач может проводиться централизованно или децентрализованно. Способ централизованной увязки предполагает, что на вход системы проектирования поступает одновременно некоторый набор постановок задач, из которых строится избыточная по информации и непротиворечивая по временным ограничениям система задач обработки данных. Децентрализованный способ предусматривает, что такая система задач обработки данных расширяется по мере поступления новых постановок задач. В дальнейшем будем считать, что система проектирования осуществляет увязку децентрализованно, поскольку, во-первых, централизованный способ можно легко свести к децентрализованному, выстраивая задачи из входного набора в некоторую очередь, и, во-вторых, децентрализованный способ, допускающий постоянное изменение системы задач, наиболее полно отвечает реальной обстановке постоянно меняющихся информационных потребностей пользователей.

Этап информационной увязки состоит в определении места входных и выходного документов задачи в системе задач, т. е. необходимо определить, не является ли выходной документ новой задачей входным для задач системы и т. п. Подчеркнем, что в рассматриваемом подходе к интеграции задач информационная связь устанавливается на основании имен входных и выходных документов (хотя предполагается возможность предварительного сравнения имен пользователей и системных номеров задач). Естественно, при этом возникает проблема синонимии и омонимии имен документов. В какой-то мере эта проблема разрешается применением тезауруса имен документов, построенного по результатам обследования документооборота в существующей системе управления. Другой возможный подход к разрешению проблемы — автоматическое определение синтаксической близости имен документов, а возможно, имен атрибутов, входящих в документ. Оба подхода не взаимоисключительны, но оба не могут полностью решить проблему: система проектирования обнаруживает документы, сходство которых лишь подзревает. Окончательное решение остается за системным проектировщиком.

Особый интерес представляют контуры в системе задач, появляющиеся при информационной увязке, когда вход и выход задачи оказываются замкнутыми.

Причины появления контуров следующие:

1. Пользователи имеют в виду разные периоды возникновения документов. Например, документ ОТЧЕТ за прошедший месяц формируется на основании документа ПЛАН за этот месяц. В то же время ПЛАН на текущий месяц составляется на основании документа ОТЧЕТ за предыдущий месяц. Таким образом, данный контур допустим в системе задач.

2. Пользователи не различают стадий формирования документа, которые он проходит при ручной обработке, и называют

фактически разные документы одним именем. Например, при формировании документа ПЛАНОВАЯ КАЛЬКУЛЯЦИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЙ используется документ ПЛАН, который в свою очередь использует калькуляцию для расчета объема планового выпуска.

3. Организационные неувязки в существующей системе управления.

4. Случайное совпадение имен документов при ошибках орфографического характера.

Во всех случаях обнаружения информационной связи новой задачи с задачами системы пользователю должен выдаваться протокол согласования с указанием имен документов, системных номеров задач и имен пользователей смежных задач. На этапе согласования постановщик задачи выясняет, подходят ли ему (и какие именно) документы из системы. Согласуются с другими пользователями или по данным о системе задач, выдаваемым по запросу, имена атрибутов используемых документов. Таким образом, формальная постановка задачи уточняется и снова проходит этапы синтаксического анализа и информационной увязки.

Задача, успешно прошедшая этап информационной увязки, включается в систему задач для временной увязки. Этап временной увязки заключается в определении сроков решения задач и построения очереди их решения. При этом временные требования новой задачи не должны входить в противоречие с требованиями других задач: новая задача не может решаться раньше, чем информационно предшествующие задачи, и не может решаться позже задач, информационно следующих за ней. Обнаружение противоречий приводит к выдаче протокола согласования с указанием номеров задач и имен пользователей. Системный проектировщик совместно с пользователями меняет сроки решения новой или старых задач. Возможна и попытка автоматического сдвига срока решения задачи с уведомлением пользователя и ожиданием подтверждения выбранного срока. Задача, успешно прошедшая этап временной увязки, включается в систему.

Для получившейся системы задач автоматически выделяется база первичных данных, т. е. данных, вводимых в АСОД, определяются периоды и сроки актуализации данных, т. е. временные характеристики процессов обновления и уничтожения данных. В дальнейшем системный проектировщик на основании этой информации должен иметь возможность реорганизации базы первичных данных в целях получения компромиссной схемы базы данных, обеспечивающей избыточность и непротиворечивость данных, а также достаточную эффективность функционирования АСОД. Окончательное решение вопроса о схеме базы данных приводит систему задач в рабочее состояние.

Все рассмотренные этапы формирования системы задач обработки данных предусматривают участие человека в процессе проектирования, и, следовательно, система проектирования должна быть снабжена входным языком. Поскольку в процессе проектирования участвуют пользователи, владеющие входным языком СУБД, желательно, чтобы языковые средства системы обработки данных и системы проектирования были сходными. С другой стороны, это позволило бы использовать одни и те же алгоритмы трансляции и интерпретации как задач проектирования, так и задач обработки данных. Например, в работе [2] рассматривается система обработки данных с входным языком высокого уровня, ориентированном на пользователя-непрограммиста. В представлении пользователя эта система работает с документами табличной формы, имеющими иерархическую структуру, и позволяет: 1) ввести документы; 2) осуществлять информационный поиск по любым условиям, накладываемым на значения атрибутов документа; 3) производить простые вычисления — подсчет количества строк в документе, суммирование значений атрибута, арифметические операции над значениями в строке и т. п.

Рассмотрим возможность использования такой системы обработки данных для системного проектирования. Информационной базой процессов проектирования являются формальные описания постановок задач, которые легко представляются в виде табличного документа плоской или иерархической структуры. Атрибутами такой таблицы будут: имя пользователя, системный номер задачи, периодичность и срок решения задачи, другие характеристики задачи, и, наконец, запросы, описывающие состав и структуру входных, выходных документов и алгоритмы получения последних. Синтаксический анализ запросов позволяет выделить имена входных и выходного документов задачи и сформировать схему взаимосвязи задач, которая в представлении пользователя выглядит как документ с атрибутами: номер задачи, имя выходного документа, имена входных документов, системные номера задач, формирующих эти документы.

*Тогда алгоритмы проектирования легко описываются на языке системы обработки данных. Более того, выбрав конкретную структуру документов информационной базы процессов проектирования и описав алгоритмы их обработки однажды, проектировщик в дальнейшем может пользоваться языком управления процессом проектирования. Операторы такого языка, например ВВЕСТИ ЗАДАЧУ, ИСКЛЮЧИТЬ ЗАДАЧУ, ИЗМЕНИТЬ СРОК и т. п., интерпретируются системой в соответствующие наборы запросов, подготовленные системным проектировщиком или разработчиком системы проектирования.*

Результатом обработки запросов во внешнем представлении будут документы: протоколы согласований, состав базы первичных данных, схема информационных взаимосвязей задач, пред-

записание выполнения задач и т. п. Во внутреннем представлении система задач выглядит как библиотека оттранслированных запросов обработки данных и некоторая управляющая структура, обход которой в определенном порядке обеспечивает необходимую последовательность выполнения задач.

**Литература:** 1. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. — М.: Мир, 1980.— 662 с. 2. Буслик Н. Н., Дедиков Э. А., Генцов В. Ф. Определение данных в системе управления базой данных ИИТА.— АСУ и приборы автоматики, 1982, вып. 62, с. 52—59.

Поступила в редколлегию 17.03.83.

УДК 62.50

А. М. ПРЯНИЦКИЙ, канд. техн. наук, Г. Я. ШЕВЧЕНКО,  
Н. Я. ТИМИРГАЗ, В. В. ЛОГВИН

### АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

В последнее время широко используются алгоритмы, основанные на принципах теории распознавания образов. Значительный интерес представляют алгоритмы автоматической классификации (таксономии), позволяющие выявить внутреннюю структуру процесса (явления). Существуют различные способы создания таких алгоритмов, например: на основе новых принципов классификации [3]; на основе существующих принципов таксономии путем их некоторой модификации или объединения [2].

Предлагаемый алгоритм автоматической классификации является результатом объединения двух уже известных алгоритмов [1]: максиминного расстояния;  $K$ -групповых средних.

По эвристическому алгоритму максиминного расстояния проводится первоначальное определение центров классов. Алгоритм основан на интуитивном представлении понятия классификации и предусматривает использование некоторого порогового критерия кластеризации  $R$ . Выбор критерия может проходить в несколько этапов: прикидка — перед работой алгоритма на основе мнения экспертов; уточнение — после получения результатов по предварительному разбиению.

Критерий  $R$  — управляемый элемент алгоритма. На основе результатов предварительного разбиения проводятся вычисления по алгоритму  $K$ -групповых средних. Идея этой части алгоритма — оптимизация показателя качества таксономии. В качестве показателя выбрана сумма квадратов ошибок

$$K = \sum_{i=1}^N \sum_{x \in S_i} \|X - \bar{X}_i\|^2,$$

где  $N$  — число классов;  $S_i$  — множество образов, относящихся к  $i$ -му классу;  $X = \frac{1}{N_i} \sum_{x \in S_i} X$  — вектор выборочных средних значений для множества  $S_i$ ;  $N_i$  — характеризует количество образов входящих в множество  $S_i$ .

Таким образом, показатель качества таксономии определяющей общую сумму квадратов отклонений характеристик всех образов, входящих в некоторый  $i$ -й кластер, от средних значений по кластеру.

Процесс оптимизации в алгоритме сочетается с процессом сортировки данных. При сортировке из всех функций расстояния было выбрано в качестве меры сходства таксономического (евклидово) расстояние.

Пошаговое описание алгоритма автоматической классификации представляет собой следующую процедуру.

Исходные данные алгоритма:

матрица операционных таксономических единиц (образов)  $X = \|X_{ij}\|_{M \times N}$ , число операционных таксономических единиц  $M$ , размер признакового пространства  $N$ .

Необходимо получить разбиение образов по кластерам, а также характеристики центров каждого из кластеров.

Шаг 1. Отыскиваются из всей совокупности два образа, отстоящие друг от друга на наибольшем расстоянии. Они принимаются за центры первых двух классов:  $X_i \rightarrow Z_1$ ;  $X_j \rightarrow Z_2$ .

Шаг 2. Производится вычисление расстояний между каждым из оставшихся образов выборки и центрами кластеров. Вычисление проводится по схеме максиминного расстояния.

Шаг 3. Если выбранное расстояние составляет величину, не меньшую выбранного критерия  $R$  (определенная часть расстояния между самыми удаленными образами), то данный образ принимается за центр кластера и переходит к шагу 2. Иначе — переходим к следующему шагу.

Шаг 4. Множество образов  $X$  распределяется по кластерам, которые характеризуются выбранными центрами кластеров. Распределение происходит по схеме  $X \in S_j$ , если  $\|X - Z_j\| < \|X - Z_i\|$

Шаг 5. Новые центры кластеров выбираются таким образом, чтобы минимизировать значение

$$K_j = \sum_{x \in S_j} \|X - Z_j\|^2 \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Новые центры классов пересчитываются

$$Z_j^* = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} X \quad j = 1, 2, \dots, k$$

Шаг 6. Равенство вновь полученных центров с предыдущими представляет собой условие сходимости алгоритма. В этом случае алгоритм закончен, иначе необходимо перейти к шагу 4.

С помощью алгоритма автоматической классификации была предпринята попытка определить информативные параметры технологического процесса производства интегральных схем (ИС). Данные технологического процесса обрабатывались по составленной в соответствии с описанным выше алгоритмом программе с использованием универсального языка программирования ПЛ/1. В ходе технологического процесса проводится проверка электростатических параметров ИС по 70 тестам. Из 70 тестов случайным образом были выбраны 12. В результате проведенной классификации выявлено, что только 5 тестов являются информативными. Таким образом, полученные классы различимы всего по пяти признакам (тестам). Эти результаты позволяют предположить, что множество из 70 тестов является явно избыточным.

Список литературы: 1. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов.— М.: Мир, 1978.— 411 с. 2. *Загоруйко Н. Г.* Методы распознавания и их применение.— М.: Сов. радио, 1972.— 208 с. 3. *Пряницкий А. М., Василенко Н. А.* Общие аспекты обучения распознавания образов.— Отбор и передача информации, 1975, вып. 44, с. 14—25.

Поступила в редколлегию 24.02.83.

УДК 514.174

*В. Я. ВИНАРСКИЙ, М. В. НОВОЖИЛОВА*

### **ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ОТОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В задачах оптимального размещения геометрических объектов широкое применение нашли понятия функции плотного размещения геометрических объектов и годографа вектор-функции плотного размещения [1, 2]. Обобщением и развитием этих понятий явилось введение понятия  $\Phi$ -функции [3], которая численно характеризует степень пересечения (непересечения) геометрических объектов.

Существуют [4] алгоритмы построения  $\Phi$ -функции в случае непересечения  $\Phi$ -объектов [5]. Это позволяет численно построить положительные (или нулевую) поверхности уровня  $\Phi$ -функции, а затем на основе некоторой дополнительной информации о свойствах  $\Phi$ -функции (например, свойство нормальности —  $|\text{grad } \Phi(\cdot)| = 1$ ) продолжить  $\Phi$ -функцию на ее отрицательную часть, соответствующую пересечению геометрических объектов.

Однако для объектов сложной геометрической формы такое продолжение практически не осуществимо.

Мы предлагаем иной подход к построению отрицательных поверхностей уровня  $\Phi$ -функции, основанный на регуляризованном аналитическом представлении  $\Phi$ -функции посредством вводимых  $\Phi$ -отображений и численной интерпретации этого представления.

Будем исходить из характеристического свойства  $\Phi$ -функций [3], которое выражается следующей системой соотношений:

$$\begin{aligned} \Phi(T_1, x_1, T_2, x_2) > 0, & \text{ если } T_1(x_1) \cap T_2(x_2) = \emptyset; \quad \Phi(T_1, x_1, T_2, \\ x_2) = 0, & \text{ если } T_1(x_1) \cap T_2(x_2) = \text{Fr}T_1(x_1) \cap \text{Fr}T_2(x_2) \neq \emptyset; \\ \Phi(T_1, x_1, T_2, x_2) < 0, & \text{ если } \text{Int}T_1(x_1) \cap \text{Int}T_2(x_2) \neq \emptyset, \quad (1) \end{aligned}$$

где  $T_1, T_2$  —  $\Phi$ -объекты;  $x_1, x_2$  — параметры размещения  $\Phi$ -объектов  $T_1$  и  $T_2$  соответственно;  $\text{Fr}$  — символ перехода к границе множества;  $\text{Int}T$  — внутренняя часть множества  $T$ .

Для построения  $\Phi$ -функции необходимо задать тем или иным образом множества  $T_1(0)$  и  $T_2(0)$ , что полностью определяет геометрические объекты  $T_1(x_1)$  и  $T_2(x_2)$  с ненулевыми параметрами размещения:  $T(x) = T(0) + x$ . Здесь «+» — символ трансляции [6] на вектор  $x$ .

Далее, для  $\Phi$ -функций справедливо [4] соотношение

$$\Phi(T_1, x_1, T_2, x_2) = \Phi(T_1, 0, T_2, x_2 - x_1), \quad (2)$$

что позволяет варьировать параметры размещения лишь одного из объектов (для определенности —  $T_2$ ), зафиксировав параметр размещения другого  $\Phi$ -объекта:  $x_1 = 0$ .

Следовательно, построение  $2n$ -мерной поверхности в пространстве  $E^{2n+1}$  для  $\Phi$ -функции  $n$ -мерных  $\Phi$ -объектов сводится к построению  $n$ -мерной поверхности в пространстве  $E^{n+1}$ . Такое понижение размерности существенно облегчает программную реализацию построения поверхностей уровня  $\Phi$ -функции.

Построим аналитическое описание отрицательной части  $\Phi$ -функции, введя предварительно понятие  $\Phi$ -отображений.

Рассмотрим отображение  $L: A \rightarrow E^1$ , действующее из линейного пространства  $A$  в пространство  $E^1$  действительных чисел.

Пусть пространство  $A$  некоторым отношением эквивалентности  $\sim_A$  разбито на семейство классов  $\{A_\alpha\}$ , а пространство  $E^1$  разбито на семейство классов  $\{E_\beta^1\}$ , порождающее отношение эквивалентности  $\sim_E$ .

**О п р е д е л е н и е 1.** *Отображение  $L$  назовем  $\Phi$ -отображением, если*

$$\forall \alpha \forall a_1 a_2 \in A_\alpha \exists \beta L a_1, L a_2 \in E_\beta^1, \quad (3)$$

„ $\forall$ “ — квантор всеобщности; „ $\exists$ “ — квантор существования; „ $\Rightarrow$ “ — символ операции логического следования.

Иначе говоря,  $\Phi$ -отображение — это отображение, сохраняющее отношение эквивалентности. Согласно (3), задание класса  $A_\alpha$ , которому принадлежит аргумент  $\Phi$ -отображения, однозначно определяет класс  $E_\beta^1$ , которому принадлежит соответствующее значение  $\Phi$ -отображения. Поэтому  $\Phi$ -отображение  $L$  индуцирует некоторое отображение  $\tilde{L}: \{A_\alpha\} \rightarrow \{E_\beta^1\}$  семейства классов пространства  $A$  в семейство классов пространства  $E^1$ .

Рассмотрим пространство  $\{L\}$   $\Phi$ -отображений  $L: A \rightarrow E^1$  с заданными разбиениями  $\{A_\alpha\}$  и  $\{E_\beta^1\}$  пространств  $A$  и  $E^1$  соответственно. Разобьем пространство  $\{L\}$  на классы  $\{L_\gamma\}$  следующим образом. К одному классу отнесем  $\Phi$ -отображения  $L_1$  и  $L_2$ , если

$$\forall a \in A \exists \beta L_1 a, L_2 a \in E_\beta^1. \quad (4)$$

Иначе говоря,  $\Phi$ -отображения одного класса любой элемент пространства  $A$  переводят в совпадающие классы пространства  $E^1$ . Очевидно, отображения  $\tilde{L}_1: \{A_\alpha^2\} \rightarrow \{E_\beta^1\}$  и  $\tilde{L}_2: \{A_\alpha\} \rightarrow \{E_\beta^1\}$ , индуцированные отображениями  $L_1$  и  $L_2$  соответственно, совпадают:  $\tilde{L}_1 = \tilde{L}_2$ . Верно и обратное утверждение.

Таким образом, устанавливается взаимно однозначное соответствие семейства классов  $\{L_\gamma\}$   $\Phi$ -отображений и семейства  $\{\tilde{L}\}$  всевозможных отображений  $\tilde{L}: \{A_\alpha\} \rightarrow \{E_\beta^1\}$ , индуцированных  $\Phi$ -отображениями.

Рассмотрим частный класс  $\Phi$ -отображений, действующих из пространства  $C_D$  непрерывных на ограниченном множестве  $D \subset E^n$  функций в пространство  $E^1$ .

Пусть  $G_1$  — унарный предикат, задаваемый соотношением

$$\forall a \in E^1 G_1(a) = \begin{cases} 1, & a > 0; \\ 0, & a \leq 0. \end{cases}$$

В качестве разбиения множества  $E^1$  на классы  $\{E_\beta^1\}$  выберем разбиение  $\{(-\infty; 0], (0, +\infty)\}$ , порождаемое предикатом  $G_1$ , и обозначим его через  $E^1/G_1$ .

Рассмотрим пространство  $C_D$  непрерывных функций, заданных на некотором ограниченном множестве  $D \subset E^n$ . На пространстве  $C_D$  введем отношение эквивалентности  $\sim^*$  следующим образом:

$$\forall f_1, f_2 \in C_D (f_1 \sim^* f_2) \leftrightarrow (\forall x \in D G_1\{f_1(x)\} = G_1\{f_2(x)\}), \quad (5)$$

т. е. в один класс эквивалентности попадают те функции из  $C_D$ , у которых значения для любого фиксированного значения аргумента либо одновременно строго положительны, либо неотрицательны. Такое разбиение пространства  $C_D$  на классы эквивалентности обозначим через  $C_D/\sim^*$ .

**О п р е д е л е н и е 2.** Пространство  $\Phi$ -отображений  $L: C_D \rightarrow E^1$  с выбранными разбиениями  $C_D/\sim^*$  пространства  $C_D$  и  $E^1/G_1$  пространства  $E^1$  обозначим через  $\Phi_D$  и назовем пространством  $\Phi_D$ -отображений. Элементы пространства  $\Phi_D$  назовем  $\Phi_D$ -отображениями.

Согласно (3), (5)  $\Phi_D$ -отображение  $L : C_D \rightarrow E^1$  удовлетворяет соотношению

$$\forall f_1, f_2 \in C_D (\forall x \in D G_1\{f_1(x)\} = G_1\{f_2(x)\}) \Rightarrow (G_1\{Lf_1\} = G_1\{Lf_2\}). \quad (6)$$

Рассмотрим один класс пространства  $\Phi_D$ , представляющий практический интерес.

Определение 3. Назовем отображение  $L : C_D \rightarrow E^1$   $\Phi_D^*$ -отображением, если

$$\forall f \in C_D (\exists x \in D f(x) > 0) \Leftrightarrow (G_1\{Lf\} = 1). \quad (7)$$

Таким образом,  $\Phi_D^*$ -отображение любой функции, имеющей хотя бы в одной точке области определения  $D$  строго положительное значение, ставит в соответствие число, большее нуля, остальным функциям из  $C_D$   $\Phi_D^*$ -отображение ставит в соответствие число, меньшее или равное нулю.

Легко показать, что  $\Phi_D^*$ -отображение удовлетворяет требованию (3) и, значит, является  $\Phi$ -отображением.

В качестве представителя класса  $\Phi_D^*$ -отображений рассмотрим отображение, которое обозначим символом  $\bigvee_{t \in D}$  и определим равенством

$$\bigvee_{t \in D} f(t) = \int_D (f(t) + \sqrt{f^2(t)}) dt = \begin{cases} a > 0, & \text{если } \exists t \in D f(t) > 0; \\ 0, & \text{если } \forall t \in D f(t) \leq 0, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\int_D (\cdot) dt$  — интеграл по области  $D$ ;  $dt$  — элемент объема области  $D$ .

Очевидно, отображение  $\bigvee_{t \in D}$  удовлетворяет выражению (7) и поэтому является  $\Phi_D^*$ -отображением.

Отметим, что отображение  $\bigvee_{t \in D}$  всюду на  $C_D$  непрерывно в силу непрерывности операции интегрирования.

Пусть имеется континуальный набор открытых областей  $\{A_t\}$  ( $t \in D$ ,  $D \subset E^n$ ,  $A_t \subset E^m$ ,  $D$  — ограничено), объединение которых ограничено. Кроме этого, пусть имеется непрерывная по совокупности аргументов функция  $f(x, t)$  ( $x \in E^m$ ,  $t \in D$ ), такая, что для любого фиксированного  $t^* \in D$   $f(x, t^*)$  является аналитическим описанием [7] области  $A_{t^*}$ , т. е.

$$\forall x \in A_{t^*} f(x, t^*) > 0; \forall x \in \text{Fr} A_{t^*} f(x, t^*) = 0; \forall x \in \text{CC} A_{t^*} f(x, t^*) < 0,$$

где «С» — символ операции теоретико-множественного дополнения до «С1А» — замыкание множества  $A$  в пространстве  $E^m$ . Легко показать, что в силу сделанных предположений функция  $\varphi(x) = \bigvee_{t \in D} f(x, t)$  непрерывна по  $x$  на всем пространстве  $E^m$  и является аналитическим описанием области  $\bigvee_{t \in D} A_t$ , удовлетворяя системе

$$\forall x \in \bigcup_{t \in D} A_t: \varphi(x) > 0; \forall x \in \text{CU} A_t: \varphi(x) = 0. \quad (9)$$

Именно это свойство  $\Phi_D^*$ -отображений определяет необходимость их применения для аналитического описания объединения континуального набора открытых областей.

Уравнение  $\varphi(x) = \bigvee_{t \in D} f(x, t) = 0$  выделяет в пространстве  $E^m$  область  $A = \bigcup_{t \in D} A_t$ , а не границу  $\text{Fr}A$ . Так как во многих задачах геометрического проектирования важным является описание поверхности  $\text{Fr}A$ , где  $A = \bigcup_{t \in D} A_t$ , то для получения такого описания нужно осуществить регуляризацию  $\Phi_D^*$ -отображений на границе области  $A$ .

Вспользуемся методом регуляризации Тихонова [8]. Пусть  $\varepsilon > 0$  — некоторое достаточно малое число, характеризующее требуемую точность и являющееся в дальнейшем параметром регуляризации.

Пусть  $\Gamma_\varepsilon$  — множество точек  $x \in E^m$ , удовлетворяющих уравнению

$$\varphi(x) = \bigvee_{t \in D} f(x, t) = \varepsilon. \quad (10)$$

Тогда  $\Gamma_\varepsilon$  является некоторым приближением к множеству  $\text{Fr}A$  и, очевидно, оператор

$$\Gamma(f(x, t), \varepsilon, D) = \Gamma_\varepsilon = \{x \in E^m \mid \bigvee_{t \in D} f(x, t) = \varepsilon\},$$

определенный для  $\varepsilon > 0$ , является регуляризирующим, т. е.  $\Gamma_{\varepsilon \rightarrow +0} \rightarrow \text{Fr}A$  по метрике Хаусдорфа [9].

Используя введенное понятие  $\Phi_D^*$ -отображения, построим регуляризованное аналитическое описание  $\Phi$ -функции в области отрицательных значений.

Пусть имеются  $\varphi$ -объекты  $T_1$  и  $T_2$  с полюсами [1]  $O_1$  и  $O_2$  соответственно. Центральную симметрию объекта  $T_2$  относительно  $O_2$  обозначим через  $T_2^-$ , а границы объектов  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_2^-$  — соответственно через  $\gamma_1$ ,  $\gamma$  и  $\gamma_2^-$ .

Пусть имеется параметрическое описание  $\varphi$ -объекта  $T_1(0)$ :

$$x = f_1(t); \quad t \in D, \quad x \in E^m \quad (11)$$

и аналитическое описание  $\varphi$ -объекта  $T_2(0)$  посредством функции  $f_2(x)$ :

$$\begin{aligned} f_2(x) &\geq 0, \quad \text{если } x \in T_2(0); \\ f_2(x) &< 0, \quad \text{если } x \in \text{CC} \setminus T_2(0). \end{aligned} \quad (12)$$

Тогда аналитическим описанием  $\varphi$ -объекта  $T_2^-(0)$  может служить функция  $f_2(-x)$ .

В работе [4] показано, что область  $P$  значений параметра  $x_2$ , при которых объекты  $T_1(0)$  и  $T_2(x_2)$  пересекаются, определяется посредством суммы Минковского [10] из формулы

$$P = T_1(0) \oplus T_2^-(0). \quad (13)$$

Пусть для определенности  $T_1(0) \ominus T_2(0) = \emptyset$ , где „ $\ominus$ “ — символ разности Минковского [10] множеств (в противном случае  $T_2(0) \ominus T_1(0) = \emptyset$ ). Тогда равенство (13) можно заменить эквивалентными соотношениями:

$$P = \text{Fr } T_1(0) \oplus T_2^-(0) \quad (14); \quad P = \gamma_1 \oplus T_2^-(0) \quad (15);$$

$$P = \bigcup_{t \in D} T_2^-(f_1(t)). \quad (16)$$

Перейдем теперь непосредственно к построению регуляризованного аналитического описания  $\Phi$ -функции вида (2) в области отрицательных значений. Для аргумента  $x_2$  областью принятия  $\Phi$ -функцией указанного вида отрицательных значений является, очевидно, множество  $P$ . Поэтому согласно характеристическому свойству (1)  $\Phi$ -функций аналитическое описание области  $P$ , умноженное на  $(-1)$ , и будет искомым продолжением  $\Phi$ -функции на область  $P$ . Таким образом, необходимо получить аналитическое описание области  $P$ , которая в соответствии с (16) представляет собой континуальное объединение открытых  $\Phi$ -объектов  $T_2^-(f_1(t))$  по всем значениям параметра  $t \in D$ .

Аналитическое описание области  $P$  представимо в виде  $\Phi_D^*$ -отображения:

$$\Phi(T_1, 0, T_2, x_2) = - \bigvee_{t \in D} f_2(-x_2 - f_1(t)) \quad (17)$$

или

$$\Phi(T_1, 0, T_2, x_2) = - \int_D (f_2(-x_2 - f_1(t)) + \sqrt{f_2^2(-x_2 - f_1(t))}) dt. \quad (18)$$

Регуляризованное аналитическое описание нулевой поверхности уровня  $\Phi$ -функции вида (2) представимо уравнением

$$\int_D \{f_2(-x_2 - f_1(t)) + \sqrt{f_2^2(-x_2 - f_1(t))}\} dt = \varepsilon > 0. \quad (19)$$

Уравнение (19) описывает поверхность уровня  $(-\varepsilon)$  в случае произвольного числа  $\varepsilon > 0$ . Следовательно, условие взаимного пересечения  $\Phi$ -объектов  $T_1$  и  $T_2$  запишется в виде

$$\bigvee_{t \in D} f_2(-x_2 - f_1(t)) > 0 \quad (20)$$

или

$$\int_D \{f_2(-x_2 - f_1(t)) + \sqrt{f_2^2(x_2 - f_1(t))}\} dt > 0, \quad (21)$$

а условие взаимного непересечения

$$\int_D \{f_2(-x_2 - f_1(t)) + \sqrt{f_2^2(x_2 - f_1(t))}\} dt = 0. \quad (22)$$

Выражения (21) и (22) позволяют распознавать пересечение  $\Phi$ -объектов произвольной размерности.

Рассмотрим еще один частный класс  $\Phi$ -отображений, действующих из пространства  $C_D$ , непрерывных на ограниченном мно-

жестве  $D \subset E^n$  функций в пространство  $E^1$ . Пусть  $G_2$  — унарный предикат, задаваемый формулой

$$\forall a \in E^1 G_2(a) = \begin{cases} 1, & a \geq 0, \\ 0, & a < 0. \end{cases}$$

В качестве разбиения множества  $E^1$  на классы  $\{E_{\beta}^1\}$  выберем разбиение  $\{(-\infty, 0), (0, +\infty)\}$ , порождаемое предикатом  $G_2$ , и обозначим его через  $E^1/G_2$ .

На пространстве  $C_D$  непрерывных функций, заданных на некотором ограниченном множестве  $D \subset E^n$ , введем отношение эквивалентности  $\sim$  следующим образом:

$$(f_1 \sim f_2) \leftrightarrow (\forall x \in D G_2\{f_1(x)\} = G_2\{f_2(x)\}). \quad (23)$$

Таким образом, в один класс эквивалентности попадают те функции из  $C_D$ , у которых значения для любого выбранного аргумента либо одновременно отрицательны, либо одновременно неотрицательны. Описанное разбиение  $C_D$  на классы эквивалентности обозначим через  $C_D/\sim$ .

**О п р е д е л е н и е 4.** Пространство  $\Phi_D$ -отображений  $L: C_D \rightarrow E^1$  с выбранными разбиениями  $C_D/\sim$  пространства  $C_D$  и  $E^1/G_2$  пространства  $E^1$  назовем пространством  $\hat{\Phi}_D$ -отображений и обозначим через  $\hat{\Phi}_D$ . Элементы пространства  $\hat{\Phi}_D$  назовем  $\hat{\Phi}_D$ -отображениями.

Согласно (3),  $\hat{\Phi}_D$ -отображение должно удовлетворять требованию:

$$\forall f_1, f_2 \in C_D [\forall x \in D G_2\{f_1(x)\} = G_2\{f_2(x)\}] \Rightarrow (G_2\{Lf_1\} = G_2\{Lf_2\}). \quad (24)$$

**О п р е д е л е н и е 5.** Назовем отображение  $L: C_D \rightarrow E^1$   $\Phi_D^*$ -отображением, если

$$\forall f \in C_D \{\forall x \in D f(x) \geq 0\} \Leftrightarrow |G_2\{Lf\}| = 1 \quad (25)$$

$\Phi_D^*$ -отображение любой неотрицательной функции из  $C_D$  сопоставляет отрицательное число, остальным функциям  $\hat{\Phi}_D^*$ -отображение ставит в соответствие неотрицательное число.

В качестве представителя класса  $\hat{\Phi}_D^*$ -отображений рассмотрим следующее  $\hat{\Phi}_D^*$ -отображение, которое обозначим через  $\bigwedge_{t \in D}$ :

$$\bigwedge_{t \in D} f(t) = \int_D \{f(t) + \sqrt{f^2(t)}\} dt = \begin{cases} 0, & \forall t f(t) \geq 0, \\ a < 0, & \exists t f(t) < 0. \end{cases} \quad (26)$$

В силу непрерывности операции интегрирования отображение  $\bigwedge_{t \in D}$  всюду на  $C_D$  непрерывно.  $\Phi_D^*$ -отображение можно приме-

нить для аналитического описания пересечения континуального набора множеств.

$\Phi_D^*$ -отображение и  $\hat{\Phi}_D^*$ -отображение являются аналитическими аналогами теоретико-множественных операций дизъюнкции и конъюнкции, поэтому для этих  $\Phi$ -отображений можно сформулировать закон де Моргана. В теории множеств закон де Моргана имеет вид [1]:

$$\overline{\bigcup_{\alpha} A_{\alpha}} = \bigcap_{\alpha} \overline{A_{\alpha}} \quad \text{или в двойственной форме} \quad \overline{\bigcap_{\alpha} \overline{A_{\alpha}}} = \bigcup_{\alpha} A_{\alpha},$$

где  $\overline{A}$  — дополнение множества  $A$  до некоторого единичного множества.

В теории  $\Phi$ -отображений закон де Моргана выглядит следующим образом:

$$-\bigvee_{i \in D} f(x, t) = \bigwedge_{i \in D} (-f(x, t)) \quad (27)$$

или в двойственной форме:

$$-\bigwedge_{i \in D} f(x, t) = \bigvee_{i \in D} (-f(x, t)). \quad (28)$$

Справедливость формул (27), (28) тривиально следует из соотношений (8), (26).

В статье приведены лишь некоторые основные направления исследований по применению  $\Phi$ -отображений. Теория  $\Phi$ -отображений, предоставляющая возможность аналитического описания пересечения или объединения континуального набора исходных множеств, с успехом может быть применена в задачах составления уравнения огибающей семейства кривых, при построении эквидистантных линий [1], а также в ряде других задач.

**Список литературы:** 1. Стоян Ю. Г. Размещение геометрических объектов. — К.: Наук. думка, 1975. — 240 с. 2. Стоян Ю. Г., Гиль Н. И. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов. — К.: Наук. думка, 1976. — 247 с. 3. Стоян Ю. Г. Об одном обобщении функции плотного размещения. — Докл. АН УССР. Сер. А, 1980, № 8, с. 71—74. 4. Винарский В. Я., Пономаренко Л. Д., Туранов И. Н. Поверхности уровня  $\Phi$ -функций и сумма Минковского. — Препринт АН УССР. Ин-т пробл. машиностроения, 1982. — 33 с. 5. Стоян Ю. Г., Винарский В. Я. Алгебро-топологические свойства  $\Phi$ -объектов. — Препринт АН УССР. Ин-т пробл. машиностроения, 1981. — 34 с. 6. Колмогоров А. Н., Фомиц С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. — М.: Наука, 1976. — 544 с. 7. Рвачев В. Л. Геометрические приложения алгебры логики. — К.: Техніка, 1967. — 212 с. 8. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1974. — 223 с. 9. Стоян Ю. Г., Винарский В. Я. Метрики на системах множеств конечномерного евклидова пространства. — Препринт АН УССР. Ин-т пробл. машиностроения, 1982. — 46 с. 10. Хадвицер Г. Лекции об объеме, площади поверхности и изопериметрии. — М.: Наука, 1966. — 416 с. 11. Клини С. К. Математическая логика. — М.: Мир, 1973. — 477 с.

Поступила в редколлегию 11.01.83.

Н. И. СЕНЧЕНКО, канд. техн. наук, Ю. С. ЗАМАЛЕЕВ

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОЦЕНОК МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕШЕНИЙ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

При моделировании биологических, а также сложных динамических систем в реальном масштабе времени и управлении подобными системами с успехом могут быть использованы цифровые интегрирующие машины и аналоговые процессоры, которые объединяются с цифровой вычислительной машиной. Одной из сложностей организации вычислений в таких системах является необходимость масштабирования зависимых переменных. Выбор масштабных соотношений не представляет труда и производится одним из традиционных способов [1, 2] при условии, что известны максимальные значения решений. На сегодняшний день, по-видимому, не существует априорных оценок решений обыкновенных дифференциальных уравнений [1, 3], удовлетворяющих пользователей.

Цель этой работы — разработка методов построения оценок максимальных значений решений задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений.

Проводимые ниже рассуждения являются небольшой модификацией ставших уже традиционными методов, восходящих к классической теореме Пикара [3]. Однако эти рассуждения приводят нас к удовлетворительным оценкам.

Всякая задача Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка может быть записана в векторной форме:

$$Y'(x) = F(x, Y(x)), \quad x \in [a, b]; \quad (1)$$

$$Y(a) = Y^0.$$

Здесь  $Y(x) = \{y_i(x)\}_{i=1}^m$  и  $F(x, Y) = \{f_i(x, Y)\}_{i=1}^m$ .

Предполагаем, что функция  $F(x, Y)$  непрерывна вместе со своими частными производными  $\frac{\partial F}{\partial y_i}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) в некотором  $(m+1)$ -мерном параллелепипеде  $G = [a, b] \times D$ , где  $D = \{Y \in R_m : |Y_i - Y_i^0| \leq d\}$  —  $m$ -мерный куб. Будем также предполагать, что в  $m$ -мерном пространстве  $R_m$  введена следующая норма  $\|A\| = \max_{1 \leq i \leq m} |a_i|$ ,  $A = \{a_i\}_{i=1}^m \in R_m$ . Вектор-функции

$Y(x)$ ,  $Y'(x)$  будем трактовать как элементы пространства  $C = C([a, b], R_m)$  — непрерывных на интервале  $[a, b]$  функций со значениями в  $R_m$ , а функцию  $F(x, Y)$  — как, вообще гово-

ря, нелинейный оператор, отображающий пространство  $C$  в себя. Норма в пространстве  $C$  вводится естественным образом  $\|Y(x)\|_C = \max_{a < x < b} \|Y(x)\|_{R_m} = \max_{a < x < b} \max_{1 < i < m} |y_i(x)|$ .

Введем следующие обозначения:

$$\varphi(x) = \max_{1 < i < m} \max_{Y \in D} \sum_{j=1}^m \left| \frac{\partial f_i}{\partial y_j} \right|; \quad \psi(x) = \int_a^x \|F(t, Y^0)\| dt;$$

$$\eta(x) = \psi(x) \exp \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right).$$

Заметим, что функции  $\varphi(x)$ ,  $\psi(x)$  и  $\eta(x)$ , ( $a \leq x \leq b$ ) неотрицательны, а функции  $\psi(x)$  и  $\eta(x)$  являются монотонно возрастающими. Используя формулу Лагранжа, для всех  $i=1, m$  и произвольных  $Y^1, Y^2 \in D$  получаем

$$f_i(x, Y^1) - f_i(x, Y^2) = \left| \sum_{j=1}^m \frac{\partial f_i}{\partial y_j}(x, Y^{np}) (y_j^1 - y_j^2) \right| \leq \left( \sum_{j=1}^m \left| \frac{\partial f_i}{\partial y_j}(x, Y^{np}) \right| \right) \max_{1 \leq j \leq m} |y_j^1 - y_j^2| \leq \varphi(x) \|Y^1 - Y^2\|.$$

Отсюда следует, что для любых точек  $(x, Y^1), (x, Y^2) \in G$  выполняется неравенство

$$\|F(x, Y^1) - F(x, Y^2)\| \leq \varphi(x) \|Y^1 - Y^2\|. \quad (2)$$

Функции, обладающие таким свойством, называются локально липшицевыми. Величина  $K = \max_{a < x < b} \varphi(x)$  представляет собой не что иное, как константу Липшица функции  $F(x, Y)$  в области  $G$ . Пусть, далее,  $h$  — корень уравнения

$$\eta(a+h) = d.$$

Поскольку функция  $\eta(x)$  положительна, монотонно растет и  $\eta(0) = 0$ , то это уравнение всегда имеет единственное решение. Обозначим  $H = \min\{b-a, h\}$ . Известно [3], что если функция  $F(x, Y)$  удовлетворяет условию Липшица в указанном параллелепипеде, то на интервале  $[a, a+h]$  задача (1) имеет единственное решение  $y^*(x)$ , для которого верна оценка

$$\|y^*(x)\|_C \leq \|y^0\|_{R_m} + M/K (e^{Kh} - 1) = P_1, \quad (3)$$

где  $M = \max \|F(x, y)\|_{R_m}$ .

Ясно, что задача (1) эквивалентна следующему уравнению Вольтерра:

$$Y(x) = Y^0 + \int_a^x F(t, Y(t)) dt, \quad a \leq x \leq b. \quad (4)$$

Покажем, что при сделанных предположениях формальные последовательные приближения Пикара

$$Y^{(n)}(x) = Y^0 + \int_a^x F(t, Y^{(n-1)}(t)) dt \quad (Y^0(x) \equiv Y^0), \quad n = 1, 2, \dots$$

корректно определены на интервале  $[a, a+H]$  и на этом интервале сходятся к точному решению  $Y^*(x)$  задачи (4) в метрике пространства  $S$ . Докажем вспомогательное утверждение.

**Лемма.** Для любого натурального  $n$  и всех  $x \in [a, b]$

$$\int_a^x \varphi(t) \left( \int_a^t \varphi(\tau) d\tau \right)^n dt = \frac{1}{n+1} \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right)^{n+1}.$$

**Доказательство.** Рассмотрим вспомогательную функцию

$$f(x) = \int_a^x \varphi(t) \left( \int_a^t \varphi(\tau) d\tau \right)^n dt - \frac{1}{n+1} \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right)^{n+1}, \quad a \leq x \leq b.$$

Ее производная

$$f'(x) = \varphi(x) \left( \int_a^x \varphi(\tau) d\tau \right)^n - \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right)^n \cdot \varphi(x) \equiv 0$$

и, значит,  $f(x) = \text{const}$ . Поскольку, очевидно,  $f(a) = 0$ , то  $f(x) \equiv 0$ .

Вернемся к построению оценок решения уравнения (4). Заметим, что для любого  $x \in [a, a+H]$

$$\|Y^{(1)}(x) - Y^0\| \leq \int_a^x \|F(t, Y^0)\| dt = \psi(x) \leq \eta(x) \leq d, \quad (5)$$

т. е.  $Y^{(1)}(x) \in D$  для любого  $x \in [a, a+H]$ , а значит, корректно определено следующее приближение  $Y^{(2)}(x)$ . Кроме того, для произвольного  $x \in [a, a+H]$  из условий (2) и (5) имеем

$$\begin{aligned} \|Y^{(2)}(x) - Y^{(1)}(x)\| &\leq \int_a^x \|F(t, Y^{(1)}(t)) - F(t, Y^0)\| dt \leq \\ &\leq \int_a^x \varphi(t) \|Y^{(1)}(t) - Y^0\| dt \leq \int_a^x \varphi(t) \psi(t) dt \leq \psi(x) \int_a^x \varphi(t) dt. \quad (6) \end{aligned}$$

Здесь мы воспользовались тем обстоятельством, что функции  $\varphi(x)$  и  $\psi(x)$  неотрицательны и функция  $\psi(x)$  монотонно растет.

Следовательно,

$$\begin{aligned} \|Y^{(2)}(x) - Y^0\| &\leq \|Y^{(2)}(x) - Y^{(1)}(x)\| + \|Y^{(1)}(x) - Y^0\| \leq \psi(x) \times \\ &\times \int_a^x \varphi(t) dt + \psi(x) = \psi(x) \left( 1 + \int_a^x \varphi(t) dt \right) \leq \psi(x) \exp \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right) = \\ &= \eta(x) \leq d \end{aligned}$$

для всех  $x \in [a, a+H]$ , т. е.  $Y^{(2)}(x) \in D$  для всех  $x \in [a, a+H]$  и, значит, корректно определено приближение  $Y^{(3)}(x)$ . Из условий (2), (5), (6) и леммы имеем

$$\begin{aligned} \|Y^{(3)}(x) - Y^{(2)}(x)\| &\leq \int_a^x |F(t, Y^{(2)}(t)) - F(t, Y^{(1)}(t))| dt \leq \\ &\leq \int_a^x \varphi(t) \|Y^{(2)}(t) - Y^{(1)}(t)\| dt \leq \int_a^x \varphi(t) \psi(t) \left( \int_a^t \varphi(\tau) d\tau \right) dt \leq \psi(x) \times \\ &\times \int_a^x \varphi(t) \left( \int_a^t \varphi(\tau) d\tau \right) dt = \frac{1}{2} \psi(x) \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right)^2 \text{ для всех } x \in [a, a+H] \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \|Y^{(3)}(x) - Y^0\| &\leq \|Y^{(3)}(x) - Y^{(2)}(x)\| + \|Y^{(2)}(x) - Y^{(1)}(x)\| + \|Y^{(1)}(x) - Y^0\| \leq \\ &\leq \psi(x) \left( 1 + \int_a^x \varphi(t) dt \right) + \frac{1}{2} \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right)^2 \leq \psi(x) \exp \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right) = \\ &= \eta(x) \leq d \text{ для любого } x \in [a, a+H]. \text{ Значит, } Y^{(3)}(x) \in D, \text{ если} \end{aligned}$$

$x \in [a, a+H]$ . Продолжая этот процесс неограниченно, получим, что все последовательные приближения  $Y^{(n)}(x)$  определены корректно на интервале  $[a, a+H]$  и для них справедливы следующие оценки:

$$\|Y^{(n)}(x) - Y^{(n-1)}(x)\| \leq \psi(x) \frac{1}{(n-1)!} \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right)^{n-1}; \quad (7)$$

$$\|Y^{(n)}(x) - Y^0\| \leq \psi(x) \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right)^k \leq \psi(x) \exp \left( \int_a^x \varphi(t) dt \right). \quad (8)$$

Из неравенства (7) следует, что  $\|Y^{(n)}(x) - Y^{(n-1)}(x)\|_C \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$  и, значит, последовательность  $\{Y_n(x)\}_{n=1}^{\infty} \subset C$  сходится

в метрике пространства  $C$  к некоторой функции  $Y^*(x) \in C$ . Эта функция как предел в пространстве  $C$  соответствующей последовательности определяется однозначно и

$$\begin{aligned} \|Y^*(x) - Y^0 - \int_a^x F(t, Y^*(t)) dt\|_C &\leq \|Y^*(x) - Y^{(n)}(x)\|_C + \|Y^{(n)}(x) - \\ &- Y^0 - \int_a^x F(t, Y^*(t)) dt\|_C \leq \|Y^*(x) - Y^{(n)}(x)\|_C + \left\| \int_a^x F(t, Y^{(n-1)}(t)) dt - \right. \\ &\times \left. \int_a^x F(t, Y^*(t)) dt \right\|_C \leq \|Y^*(x) - Y^{(n)}(x)\|_C \left(1 + \int_a^{a+H} \varphi(t) dt\right) \rightarrow \\ &\rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Таким образом,  $Y^*(x) = Y^0 + \int_a^x F(t, Y^*(t)) dt$ ,  $x \in [a, a+H]$  и тем самым  $Y^*(x)$  — единственное решение уравнения (4) на интервале  $[a, a+H]$ . Поскольку последовательные приближения  $Y^{(n)}(x)$  сходятся к  $Y^*(x)$  в метрике пространства  $C$ , то из неравенства (8) имеем следующую оценку:

$$\begin{aligned} \|Y^*(x) - Y^0\|_C &= \max_{a < x < a+H} \psi(x) \exp\left(\int_a^{a+H} \varphi(t) dt\right) = \psi(a+H) \times \\ &\times \exp\left(\int_a^{a+H} \varphi(t) dt\right). \end{aligned}$$

Отсюда на интервале  $[a, a+H]$  (там, где решение  $Y^*(x)$  уравнения (4) существует) получаем оценку для максимальных значений решения задачи (1)

$$\begin{aligned} \max_{a < x < a+H} \max_{1 < i < m} |y_i^*(x)| &\leq \max_{1 < i < m} |y_i^0| + \int_a^{a+H} \max_{1 < i < m} |f_i(t, Y^0)| dt \times \\ &\times \exp\left(\int_a^{a+H} \varphi(t) dt\right). \end{aligned} \quad (9)$$

Заметим, что если при решении задачи (1) мы «завысили» интервал существования решения (т. е. в действительности решение существует не на всем интервале  $[a, b]$ , а лишь на некоторой его части  $[a, a+H]$ ), то, как это следует из условий (2) и (9), о решении ничего более, кроме априорной оценки  $\|Y^*(x)\|$  —

— $Y^0\|_c \leq d$ , сказать нельзя. В случае, если мы верно указали интервал существования решения задачи (1)  $h \geq b - a$  и функция  $\varphi(x)$  достаточно быстро убывает  $\varphi(x) \leq a/x$ , то оценка (9) значительно точнее априорной

$$\|Y^*(x)\|_c \leq \|Y^0\| + \psi(b) \left(\frac{b}{a}\right)^a.$$

Далее, если известно, что функция  $F(x, Y)$  определена по переменной  $Y$  на всем пространстве  $R_m$  и локально липшицева на интервале  $[a, b]$  (т. е. удовлетворяет условию (2)), то трудностей с корректностью определения последовательных приближений  $Y^{(n)}(x)$  не возникает. В этом случае решение задачи (1) существует на всем интервале  $[a, b]$  и неравенство (9) дает оценку максимальных значений решения этой задачи значительно точнее оценки  $P_1$ .

В случае линейной системы дифференциальных уравнений

$$f_i(x, y) = \sum_{j=1}^m a_{ij}(x) y_j + g_i(x)$$

функции  $\varphi(x)$  и  $\psi(x)$ , входящие в оценку (9), как легко видеть, вычисляются так:

$$\varphi(x) = \max_{1 < i < m} \sum_{j=1}^m |a_{ij}(x)|, \quad \psi(x) = \int_a^x \|F(t, Y^0)\| dt =$$

$$= \int_a^x \max_{1 < i < m} |\sum_{j=1}^m a_{ij}(t) y_j^0 + g_i(t)| dt.$$

Задача Коши для линейного дифференциального уравнения произвольного порядка

$$y^{(m)} = f(x, y, y', \dots, y^{(m-1)});$$

$$y(a) = y_1^0, y'(a) = y_2^0, \dots, y^{(m-1)}(a) = y_m^0, a \leq x \leq b \quad (10)$$

может быть сведена к задаче Коши для системы дифференциальных уравнений первого порядка

$$y'_i = y_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, m-1;$$

$$y'_m = f(x, y_1, \dots, y_m);$$

$$y_i(a) = y_i^0.$$

где  $y_1(x) = y(x)$ . Запись этой задачи в векторной форме приводит нас к задаче (1), где функция  $F(x, Y)$  имеет вид

$$F(x, Y) = (y_2, y_3, \dots, y_m, f(x, y_1, \dots, y_m)).$$

В этом случае функции  $\varphi(x)$  и  $\psi(x)$ , входящие в оценку (9), вычисляются так:

$$\varphi(x) = \max \left\{ 1, \max_{y \in D} \sum_{j=1}^m \left| \frac{\partial f}{\partial y_j} \right| \right\};$$

$$\psi(x) = \int_a^x \max_{1 \leq i \leq m} \{ |y_i^0|, \dots, |y_m^0|, |f(t, y_1^0, \dots, y_m^0)| \} \leq \max \{ (x-a) \times \\ \times \max_{1 \leq i \leq m} |y_i^0|, \int_a^x |f(t, y_1^0, \dots, y_m^0)| dt \}.$$

Тогда неравенство (9) дает оценку максимальных значений решения задачи (10) и его производных.

Проиллюстрируем на примерах применимость изложенного метода.

**Пример 1.** Рассмотрим задачу Коши

$$y' = x^2(y+1), \quad 0 \leq x < 1, \quad y(0) = 0.$$

Здесь  $f(x, y) = x^2(y+1)$ . Тогда, согласно (9),  $\max_{0 \leq x < 1} |y(x)| =$

$$= 0 + \int_0^1 |x^2(y^0+1)| dx e^{\int_0^1 \varphi(x) dx} = 0 + \int_0^1 x^2 dx e^{\int_0^1 x^2 dx} = 0 +$$

$$+ \frac{1}{3} e^{1/3} \approx 0,460.$$

Точное решение задачи есть функция  $y^*(x) = e^{\frac{1}{3}x^3} - 1$  и  $\max_{0 \leq x < 1} |y^*(x)| = 0,39$ .

**Пример 2.** Рассмотрим задачу Коши для системы дифференциальных уравнений

$$y_1' = 2y_1 - y_2;$$

$$y_2' = y_1 + 2e^x; \quad y_1(0) = 4, \quad y_2(0) = 3, \quad 0 \leq x \leq 0,1.$$

Здесь  $f_1(x, y) = 2y_1 - y_2$ ,  $f_2(x, y) = y_1 + 2e^x$ . Тогда, согласно (9), имеем

$$\max_{0 \leq x < 0,1} \max_{i=1,2} |y_i^*(x)| \leq 4 + \int_0^x |4 + 2e^t| dt \cdot \exp\left(\int_0^x 3 dt\right) = 4 + (4 \cdot 0,1 + \\ + 2e^{0,1} - 2) e^{0,3} = 4,8.$$

Аналитическое решение задачи Коши для данной системы уравнений имеет вид

$$y_1(x) = e^x(-x^2 + x + 4), \quad y_2(x) = e^x(-x^2 + 3x + 3).$$

Тогда

$$\max_{0 < x < 0,1} \max_{i=1,2} |y_i(x)| = \max \{ |e^{0,1}(-0,01 + 0,1 + 4)|, |e^{0,1}(-0,01 + 0,3 + 3)| \} = 4,04 \cdot e^{0,1} = 4,499.$$

**Список литературы:** 1. *Каляев А. В.* Теория цифровых интегрирующих машин и структур. — М.: Сов. радио, 1970. — 472 с. 2. *Левин Л.* Методы решения технических задач с использованием аналоговых вычислительных машин. — М.: Мир, 1966. — 416 с. 3. *Трикоми Ф.* Дифференциальные уравнения. — М.: Иностранная литература, 1962. — 351 с.

*Поступила в редколлегию 24.03.83.*

УДК 658.012.011

*А. А. РОСЬ*, канд. техн. наук, *Ю. Г. БОГДАНОВ*, *А. Н. КОСИНОВ*

## **АДАПТАЦИЯ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ**

Одним из основных требований, предъявляемых к прикладному программному обеспечению АСУ, является адаптация реализуемых им принципов управления к условиям функционирования системы управления. Управление заключается в целенаправленном воздействии на управляемые объекты, чтобы достичь экстремума некоторой целевой установки. Для систем, функционирующих в условиях динамической среды, характеризующейся частичной неопределенностью, эффективность управления зависит от полноты и достоверности знаний о состоянии объектов управления и об условиях функционирования АСУ. Таким образом, в процессе управления решаются две взаимосвязанные задачи: на основании поступающей информации выясняются свойства, состояния управляемых объектов и условия функционирования системы управления; на основании этих данных определяются действия, необходимые для управления.

В общем случае процессы изучения управляемых объектов, условий их функционирования и управления ими связаны и образуют сложный двойственный или дуальный процесс, развитие которого определяет качество работы системы управления в целом. При этом выбор управляющих воздействий должен определять не только поведение контролируемых параметров управляемых объектов, но и темп накопления, качество и состав анализируемой информации, что составляет сущность дуального управления [1].

Являясь моделью процесса управления, прикладное программное обеспечение должно отображать все его стороны, су-

ственные для решения возложенных на АСУ задач, в том числе дуальный характер управления. В связи с этим имеет смысл говорить о том, что адаптация прикладного программного обеспечения, а следовательно, и АСУ, также имеет двойственный характер: уточнение представлений о внешнем мире и управляемых объектах путем корректировки соответствующих моделей на основе, например, статистической обработки наблюдений, указаний операторов и т. д.; изменение системы правил выработки решения на управление подчиненными объектами, а при необходимости — и правил обработки информации применительно к конкретной обстановке.

Таким образом, дуальность управления влечет дуальность адаптации прикладного программного обеспечения АСУ к условиям ее функционирования.

Адаптация первого типа достаточно эффективно реализуется в алгоритмах управления существующих АСУ. В настоящее время разработан достаточно мощный математический аппарат статистической обработки наблюдений, сглаживания и экстраполяции параметров управляемых объектов и среды их функционирования.

Иначе обстоит дело с адаптацией второго типа. Последовательность правил выработки решения на управление определяется структурой управляющих алгоритмов. Выбор требуемой последовательности правил осуществляется путем выбора соответствующей ветви алгоритма с помощью формирования необходимых коэффициентов автоматически или операторами. О формировании последовательности правил выработки решения, не заложенной в структуре управляющего алгоритма, но диктуемой условиями создавшейся обстановки, не может быть и речи. Достижения науки в области моделей систем искусственного интеллекта делают возможным осуществить разработку прикладного программного обеспечения, позволяющего изменять структуру алгоритмов управления применительно к конкретной складывающейся обстановке, т. е. на более высоком уровне осуществлять адаптацию второго типа. В дальнейшем алгоритмы, обладающие свойством структурной адаптации, будем называть алгоритмами адаптивного управления (ААУ). Рассмотрим требования, которым должны удовлетворять ААУ.

1. Наличие собственной внутренней модели внешнего мира. Эта модель обеспечивает индивидуальность, самостоятельность системы управления в оценке конкретной обстановки и в соответствии с собственными знаниями выработку решения на управление.

2. Способность пополнения имеющегося представления знаний, обучения. При этом имеется в виду не простое добавление новых фактов в базу данных, а такая перестройка, «встраивание» новой информации в систему представления знаний, при

которой обеспечивается решение всех задач класса, представителем которого является поступившая новая информация.

3. Способность к конструированию, генерации решения на управление, в явном виде не содержащегося в памяти управляющей ЭВМ.

4. Возможность выработки решения на управление для систем, функционирующих в условиях частичной неопределенности.

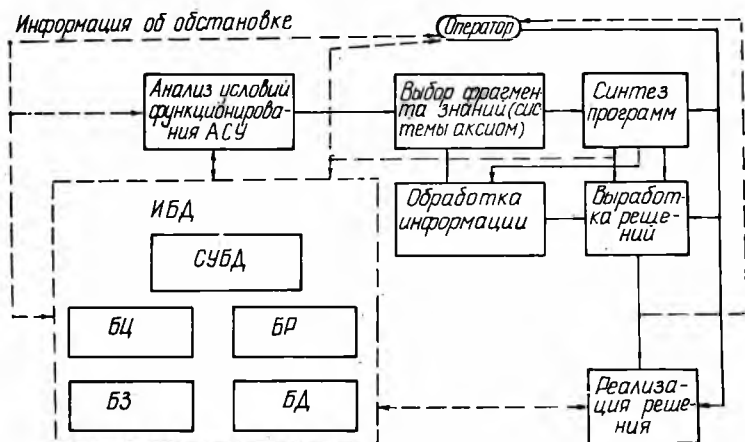
5. Возможность диалогового взаимодействия ЭВМ и оператора на достаточно высоком интеллектуальном уровне. Это требование к ААУ обусловлено человеко-машинной концепцией трактовки процесса управления подчиненными объектами. Здесь более правильно говорить не об автономных АСУ, а о классе смешанных человеко-машинных систем, в которых имеется «человеческая» (операторы) и машинная части. В связи с этим операторы должны использовать ЭВМ не как автомат, выполняющий в соответствии с программой, заложенной в него, определенную последовательность действий и выдающий в том или ином виде фактографическую информацию, а как помощника, партнера, способного дать совет, подготовить необходимую в данный момент информацию, сформировать план действий, решить задачу, ранее не стоявшую перед системой. В этой связи большое значение приобретает проблема диалогового взаимодействия операторов с управляющей ЭВМ.

Системы управления, удовлетворяющие указанным требованиям, относятся к классу систем искусственного интеллекта (СИИ) [2]. Особенность СИИ заключается в том, что при их создании интеллектуальность придают им, вводя интеллектуальные блоки в обычные неинтеллектуальные системы. Таким образом, алгоритм адаптивного управления должен включать все элементы управляющих алгоритмов и блоки, обеспечивающие его интеллектуальность.

На рисунке приведена укрупненная структурная схема алгоритма адаптивного управления. На этой схеме непосредственно управляющий алгоритм представлен тремя составными частями — алгоритмом обработки информации, алгоритмом выработки решения, алгоритмом реализации решения. Такое разделение управляющего алгоритма обусловлено характером решаемых в процессе управления задач.

Кроме рассмотренных блоков, ААУ включает как обязательные элементы алгоритм синтеза программ и алгоритм выбора фрагмента знаний, которые и придают управляющему алгоритму свойство адаптации. В качестве алгоритма синтеза программ может быть использована система автоматизированного синтеза управляющих программ, описанная в [4]. Следует отметить, что в контур управления включен и оператор. Обязательным элементом ААУ как СИИ является интеллектуальный банк данных (ИБД) [2], в котором сосредоточена вся информация о внешнем мире. Центральное место в ИБД занимает система управления базой

данных (СУБД). Она представляет собой комплекс взаимосвязанных программ, предназначенных для обеспечения относительной независимости управляющих программ от конкретной организации данных. Это удобно при модульной структуре вычислительных средств АСУ, так как банк данных может быть



реализован на отдельном вычислительном модуле и организовывать межмашинный обмен и обмен с внешними абонентами.

Необходимость выделения СУБД в качестве самостоятельной системы следует из анализа структуры прикладного программного обеспечения управляющих ЭВМ и задач, решаемых его элементами. Примерно 70% команд от общего объема прикладного программного обеспечения предназначаются для организации распределения информации в памяти ЭВМ, доступа к информационным массивам, поиска элементов информации в них и других операций информационного обслуживания [3]. И только 30% команд реализуют непосредственно алгоритм управления.

Информационная часть ИБД условно разделена на 4 базы: база целей (БЦ), база знаний (БЗ), база ресурсов (БР) и база данных (БД) [2]. База данных содержит количественные данные, по структуре и содержанию не отличается от баз данных существующих АСУ.

База знаний является моделью знаний человека о закономерностях процесса управления и поведении управляющей системы в тех или иных условиях. БЗ в общем случае содержит: сведения, которые отражают закономерности, существующие во внешнем мире (границы внешнего мира определяются той предметной областью, с которой оперирует система управления), и позволяют как выводить новые факты, имеющие место в конкрет-

ном состоянии предметной области, но не зафиксированные в БД, так и прогнозировать потенциально возможные состояния; сведения о структуре и содержании БД.

База целей содержит информацию о целевых установках системы управления, о задачах, возложенных на нее.

Свойства адаптивности дополненного таким образом управляющего алгоритма проявляются следующим образом. Описание поведения управляющей системы в различных ситуациях, содержащееся в БЗ, целевые установки, рекомендации по управлению и показатель качества управления, содержащиеся в БЦ, представлены на содержательном уровне совокупностью утверждений, образующих систему аксиом. В соответствии с информацией об условиях функционирования АСУ операторы определяют, например, путем нажатия соответствующих кнопок или их комбинации, какую группу аксиом необходимо использовать для синтеза управляющего алгоритма. Выбранная группа аксиом является исходной для алгоритма синтеза программ, осуществляющего синтез программы выработки решения (или программ обработки информации) из программных модулей, содержащихся в базе ресурсов. После выполнения алгоритма синтеза программ управление передается алгоритму выработки решения (алгоритму обработки информации). Это вариант реализации адаптации управляющих алгоритмов с участием операторов.

Если в ААУ ввести алгоритм анализа условий функционирования системы управления, то выбор требуемой группы аксиом в соответствии со складывающейся обстановкой будет производиться автоматически. В этом случае на человека возлагается задача оперативного вмешательства в процесс управления только в ситуациях, не отраженных в аксиоматических моделях, или в случае необходимости реализации оригинальных решений оператора, принятых им исходя из информации, не содержащейся в ИБД, например, из интуитивных соображений.

Рассмотренная структура прикладного программного обеспечения позволяет строить его как модель, адекватную процессу управления в условиях частичной неопределенности. При этом дуальность управления влечет дуальный характер адаптации программного обеспечения АСУ.

**Список литературы:** 1. *Энциклопедия кибернетики*. К.: Главная редакция украинской советской энциклопедии, 1975, с. 306—307. 2. *Кузин Л. Т.* Основы кибернетики, т. 2. — М.: Энергия, 1979. — 584 с. 3. *Бобко И. М.* Автоматизированные системы управления и их адаптация. — Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. — 111 с. 4. *Рось А. А.* Принципы построения системы автоматизированного синтеза управляющих программ. — Проблемы бионики, 1982, вып. 29, с. 103—108.

*Поступила в редколлегию 13.01.83*

*А. К.-М. ЭИЯМ БЕРДЫЕВ*, канд. мед. наук,  
*А. А. КРИВОВА*, канд. мед. наук

### **ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Решениями XXVI съезда КПСС предусмотрено увеличение объема производства химической и нефтехимической продукции на 30—33%. Это обуславливает изыскание и использование резервов повышения производительности труда лиц, занятых в химической промышленности.

Основной в химическом производстве является профессия аппаратчика, которая относится к числу управляющих. Для нее характерна необходимость совмещать высококвалифицированные управляющие функции с неквалифицированным трудом. Соотношение этих компонентов деятельности обусловлено степенью механизации и автоматизации производства, что, в свою очередь, предредшает условия труда, реальную вредность их и опасность [1].

Квалификация аппаратчика определяется его возможностью ликвидировать отклонения параметров технологического процесса. При этом аппаратчик — это прежде всего наблюдатель, контролер и регулировщик, имеющий дело с определенным, зачастую растянутым в пространстве информационным полем, в котором могут появиться сигналы. Значимая для аппаратчика информация представлена сигналами рассогласования, определяющими степень напряженности труда. Периодическое поступление сигналов рассогласования определяет селективный поиск значимой информации и делает необходимым поддержание постоянной готовности к срочному действию.

Следует также отметить жесткий регламент деятельности. Инструкция аппаратчикам пунктуально и во всех подробностях описывает вероятные варианты сдвигов в системе и пути их устранения. Для наиболее ответственных участков предусмотрена автоматическая блокировка процесса, что вполне объяснимо. В условиях непрерывного производства, когда замедленные и неточные действия чреватны серьезными последствиями (угроза возникновения опасных концентраций токсических веществ, аварийная ситуация с прогнозом поломки или остановки оборудования и длительных работ по его пуску и вводу в «режим» и т. д.), необходима особенная четкость действий аппаратчика. Естественно, что инструкция не может предвидеть все причины отклонений и способы их ликвидации, исключив тем самым инициативу работающих. Аппаратчик остается высшим интегрирующим звеном в системе [2].

Вместе с тем, организация его труда направлена на возможное исключение «игровых ситуаций» и детерминирует деятельность по алгоритму, предусмотренному инструкцией. Исходя из этого можно было бы предположить, что аппаратчик химического производства является «универсальным резервантом» автоматических устройств. Однако работа аппаратчиков оказывается сложной деятельностью, за внешней простотой которой скрывается постоянное вероятностное прогнозирование и программирование профессиональной активности во времени, где квалификация и субъективный опыт специалиста имеют решающее значение [2].

По утверждениям аппаратчиков, они даже во время посторонних разговоров «не отключаются» и все время «помнят, что где происходит», что является типовым для всех актов труда, связанных с использованием новых (автоматизированных) орудий труда [3].

Изложенное ориентирует на возможность увеличения нагрузки на нервно-психическую деятельность работающих (установка, мера ответственности, степень риска, дефицит времени и др.), особенно в условиях непостоянства на протяжении смены производственных ситуаций, что детерминирует включение у аппаратчиков вегетативных корреляторов двигательных реакций и эмоционального фона.

Мы изучали условия и характер труда аппаратчиков в автоматизированном производстве хлора, щелочи, жидкого хлора и хлорной извести. В динамике исследовались гигиенические условия: микроклимат, уровень шума и освещенности на рабочих местах.

Труд аппаратчиков протекает на фоне дискомфортных гигиенических условий: микроклимат в теплый период года нагревающий (температура выше наружной на 2,5—9,5° С; относительная влажность 85—89% при таковой наружного воздуха до 75%); скорость движения воздуха на участках с большой тепловой нагрузкой — у электролизеров, т. е. на рабочих местах аппаратчиков, ниже регламентируемой санитарными нормами.

В холодный и переходной периоды года метеорологические условия характеризовались низкой температурой и резкими температурными перепадами, достигающими за смену в зале электролиза 9,5° С. Относительная влажность на обследованных участках цеха в холодное время выше допустимого уровня, что усугубляет воздействие низкой температуры воздуха.

Освещенность рабочих мест как искусственная (от 75 до 110 лк), так и естественная (к. е. о. от 0,6 до 2,2) ниже минимальных уровней для работ подобного рода.

Нормальное протекание технологического процесса, обуславливающее контрольную и регулируемую деятельность аппаратчиков, характеризуется значительной концентрацией внимания, постоянной напряженностью зрительного и периодической —

двигательного анализаторов. Иными словами, в этот период аппаратчики осуществляют диагностирование ситуации и принятие решения, а затем выполняют действия по устранению нарушений в производственном процессе. При этом диагностирование с опорой на индикаторы с нерациональной компоновкой (а таковое имеет место на электролизерах — поплавочный уровень рассола и манометрический индикатор вакуума в хлорном коллекторе расположены на высоте 2,5 м от пола), объективно затруднено вне зависимости от квалификации аппаратчика. Кроме того, при наблюдении попеременно за индикаторами, находящимися на различном расстоянии (от 1 до 4 м) и уровне (до 1 м) от аппаратчика, возникает необходимость постоянной переакомодации и перестройки конвергентного аппарата глаз, что является причиной форсированного зрительного утомления, которое еще более усугубляется недостаточной освещенностью рабочих мест.

Указанное подтверждается нашими исследованиями остроты зрения у аппаратчиков. Установлено ее снижение к концу рабочего дня.

При обходе оборудования и коммуникаций аппаратчик осуществляет селекцию сигналов и классифицирует их на требующие и не требующие действий. Большинство индикаторов на электролизерах (поплавочный уровень рассола, индикатор вакуума в хлорном коллекторе и др.), основным информационным параметром которых является контраст, имеет пороговое значение последнего и расположено вне оптимального поля зрения, что маскирует необходимые показания, увеличивая при этом степень риска ошибочных действий.

Исполнительная деятельность аппаратчика зависит от количества органов управления, способов размещения, характеристик, определяющих степень удобства работы с каждым из них в отдельности (размер, форма, сила сопротивления и др.), а также от логики связи моторных действий с отображаемой информацией [4].

При анализе деятельности и антропометрической оценке рабочих мест аппаратчиков электролиза было установлено, что ряд органов управления (винтовые зажимы на шлангах подачи рассола — 288 штук) расположены вне зоны досягаемости — до 2 м от уровня пола. В случае регулировки уровня рассола аппаратчики вынуждены становиться на щелочный коллектор. Кроме того, задвижка на выходе рассола из теплообменников, находящаяся на полуоткрытой площадке, расположена на отметке 3 м от пола и ее регулировка осуществляется двумя руками.

Нерациональная компоновка средств индикации и органов управления приводит к частой смене положения тела (56 раз за период наблюдения), увеличению времени, когда аппаратчики вынуждены принимать неудобную рабочую позу (35,1%)

и работать в этом положении. При этом высокий процент времени отмечается в крайне неудобной позе: сильно согнутое (угол сгибания больше  $90^\circ$ ) — 8,9%, на корточках — 4,4%, на одном или обоих коленях — 2,4%.

Особенности существующего режима и характера труда аппаратчиков были отражены в данных фотохронометражных наблюдений. Результаты исследований свидетельствуют о высокой плотности рабочего дня — 80,5% бюджета рабочего времени приходится за основную работу, значительная часть которой (33%) несет повышенную эмоциональную нагрузку с элементами физической работы средней тяжести (время активного регулирования составляет 12,4% от времени основной работы, 16 регулировочных действий за период наблюдения с затратой на каждое в среднем 34,5 с).

Постоянное напряжение адаптационного механизма (работа в дискомфортных условиях) и мобилизация «вегетативного обеспечения» эмоционального компонента деятельности, а также значительное мышечное напряжение, обусловленное нецелесообразным размещением средств индикации и органов управления может привести к ряду изменений в функциональном состоянии организма работающих, выходящих за пределы физиологической нормы, и обусловить снижение работоспособности и эффективности труда.

В наших исследованиях центральной нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной и мышечной систем, проведенных в динамике рабочего дня, установлены изменения, свидетельствующие о некотором рассогласовании регуляторного механизма центральной нервной и снижении адаптационных возможностей сердечно-сосудистой, дыхательной и мышечной систем.

Обнаруженные сдвиги в функциональном состоянии прежде всего центральной нервной и сердечно-сосудистой систем можно расценивать как начальные легкие, обратимые, возникающие в результате влияния комплекса, а в ряде случаев — эмоциональных факторов внешней среды.

При эргономическом анализе центрального пульта управления цеха 101 были оценены методы подачи информации аппаратчикам, структурное решение приборов и мнемосхемы, компоновка средств индикации и органов управления на щите и оборудование щитовой, интерьер и его эстетические качества, гигиенические условия труда.

Основным элементом центрального пульта управления является приборный щит с расположенными на нем приборами и органами управления всем технологическим процессом получения хлора и щелочи. Дополнительным источником информации о характере изменений, связанных с различными нарушениями технологического процесса, является накладная мнемосхема, расположенная в верхней части щита.

В ходе анализа были отмечены недостатки, затрудняющие деятельность аппаратчиков. Так, при расположении приборов и органов управления на щите не учитывались их важность в процессе регулирования и управления, частота использования, функциональные связи, последовательность считывания информации и управления.

При компоновке приборов на щите не было строгого соответствия с положением их символов на мнемосхеме (индукционный расходомер ИР-11 для контроля расхода рассола расположен на 3-й панели, а его условное обозначение — над 6-й панелью; прибор типа ПВ-10-1Э для регулировки уровня щелочи в баках расположен на 4-й панели, а его условное обозначение на мнемосхеме — над 1-й панелью и т. д.), вследствие чего происходит перекрещивание маршрутов обзора и бессмысленно увеличивается нагрузка на память аппаратчиков.

Часть мнемосхемы (схема получения гипохлорита, схема ремонта электролизеров) несет избыточную информацию, так как практически не используется аппаратчиками и ее компоновка в пределах мнемосхемы снижает необходимый зрительный акцент на основных композиционных элементах.

Ряд органов управления на щите (регуляторы температуры рассола, подачи воды) расположен на уровне 0,5—0,6 м от пола, что затрудняет работу аппаратчиков. Надписи, характеризующие приборы, в том числе и редко используемые, вследствие неудобного расположения трудночитаемы, что также увеличивает нагрузку на память и усложняет оценку ситуации.

Оценка эстетического качества интерьера и оборудования щитовой показала его нерациональность. Приоритет был отдан серому цвету (потолок, приборный щит, фон мнемосхемы, шкафы реле управления насосами, реле сигналов и др. — серая эмаль) и голубому — две широкие (до 0,7 м) полосы вдоль стен помещения. Нерациональная окраска потолка, стен и оборудования в совокупности не позволяет достичь некоторого психологического уравнивания недостатков среды и избежать, в определенной мере, негативного воздействия на работающих неудовлетворительных метеорологических условий, особенно в холодный и переходной периоды года.

Таким образом, путем эргономических исследований установлено, что деятельность аппаратчиков химического производства включает компоненты повышенной сенсорной, эмоциогенной и физической нагрузки. Учитывая, что дискомфортная среда оказывает негативное влияние на организм работающих, следует полагать, что их совокупность (эргономические и эмоциогенные факторы) может явиться причиной изменения функционального состояния организма работающих и, в свою очередь, обусловить снижение работоспособности и производительности труда.

Работа завершена разработкой конкретных рекомендаций, направленных на улучшение условий, и повышение эффективности труда аппаратчиков полуавтоматизированного химического производства.

**Список литературы:** 1. *Леонов А. А., Резвин Ф. Я.* Автоматизация химических производств и пути ее развития. — М.: Наука, 1967. — 140 с. 2. *Стрюков Г. А., Грицевский М. А.* Психофизиологическая характеристика деятельности оператора автоматизированного химического производства. — Психофизиология труда операторов автоматизированного производства, 1974, с. 53—67. 3. *Виноградов М. И.* Актуальные проблемы физиологии труда. — М.: Медицина, 1967. — 90 с. 4. *Венда В. Ф.* Эргономические проблемы централизованного управления производством. — В кн.: Эргономика, М.: Мир, 1967. — 392 с.

*Поступила в редколлегию 08.02.83.*

УДК 62—506.2.001:62/383.8

**Ф. Д. ДУБИНИН**

### **ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОРОДНЫХ АДАПТИВНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР**

*Введение.* В технике управления биоподобными системами и моделирования биофизических процессов развивается новое направление, основанное на использовании функциональных аналогов биологических нейронных систем. Однако структура существующих технических нейронных сетей не соответствует биологическим аналогам. Использование в нейронных сетях компонентов вычислительной техники и принципов ее организации не позволяет строить быстродействующие и гибкие системы управления ввиду последовательного характера операций и ограниченных возможностей коммутации пространственных связей между ячейками сети. В результате задерживается развитие аналоговых систем управления и моделирования, основанных на бионических предпосылках. Поэтому назрела необходимость выполнения элементной базы биоподобных систем на основе структурной и функциональной аналогии нейронным сетям и другим биологическим объектам с волновым характером поведения.

Целесообразным является выполнение указанных компонентов в виде однородной многомерной структуры, что позволит упростить технологию изготовления и существенно повысить надежность систем управления. Разработка аналоговых, однородных, нейронных сетей может существенно ускорить прогресс в области систем управления сложными биоподобными автоматами, в том числе информационными и технологическими роботами [1].

При разработке моделей нейронных сетей необходимо руководствоваться следующими основными принципами [2].

1. В моделях должны воспроизводиться основные функции биологических структур с распространяющимся возбуждением и систем рецепторного типа — реализация процессов пространственного и временного суммирования тормозных и возбуждающих сигналов, генерирование распространяющихся волн возбуждения и торможения, пространственная фильтрация двухмерных сигналов в рецепторных моделях, адаптация.

2. Модели должны быть структурно аналогичными биологическим прототипам с разветвленными пространственными связями и содержать систему латеральных связей с гибко изменяемыми весовыми характеристиками.

3. Модели должны быть однородными.

4. Параметры модели должны изменяться под влиянием возбуждающих и тормозящих полевых воздействий.

*Оптоэлектронные неадаптивные модели.* Основным элементом модели является электролюминесцентный преобразователь изображения (ЭПИ). ЭПИ представляет собой распределенный в плоскости однородный, инерционный усилитель, охваченный пространственными обратными связями. Связи разделяются на тормозные и возбуждающие. ЭПИ содержит входную фоточувствительную и выходную излучающую плоскости, оптические системы, предназначенные для формирования пространственных связей. В качестве входного сигнала служит двухмерное оптическое изображение, спроектированное на входную плоскость преобразователя.

Характер реакции преобразователя на оптическое возбуждение зависит от чувствительности и инерционности оптоэлектрических и оптических компонентов ЭПИ и от формы и интенсивности пространственных обратных связей [3—5]. В зависимости от соотношения параметров реакцией модели на входной сигнал является распространяющееся нейристорное возбуждение, либо пространственная фильтрация рецепторного типа.

Конструкция преобразователя может быть выполнена континуальной — в виде совокупности плоских пленок (рис. 1: *a* — модель с распространяющимся возбуждением; *b* — модель рецепторного поля;  $\lambda_1$  — зеленый спектр;  $\lambda_2$  — инфракрасный спектр; *B* — возбуждающий сигнал; *T* — тормозной сигнал) или мозаичной — в виде равномерно распределенной совокупности одинаковых ячеек, соединенных между собой (рис. 2: *a* — схема модели; *b* — схема оптических потоков).

Континуальная модель с волновым характером поведения выполняется в виде электролюминесцентного преобразователя (4 — преобразователь спектра) изображения и содержит три слоя: 1 — фоточувствительный слой на основе CdS—CdSe компонентов; 2 — электролюминесцентный слой, спектр излучения которого согласован с характеристиками слоя 1; 3 — промежуточный слой, оптически прозрачный к излучению слоя 2 и предназначенный для реализации оптической обратной связи.

Чувствительность слоя 1 и яркость слоя 2 таковы, что при зажигании электролюминофора возникает оптронный регенеративный режим. За счет боковой засветки, обусловленной слоем 3, светящаяся зона постепенно расширяется; в конечном итоге, при условии отсутствия тормозных обратных связей, возбуждение распространяется на всю поверхность преобразователя.

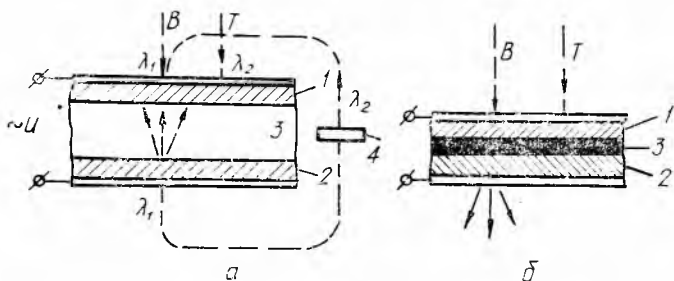


Рис. 1

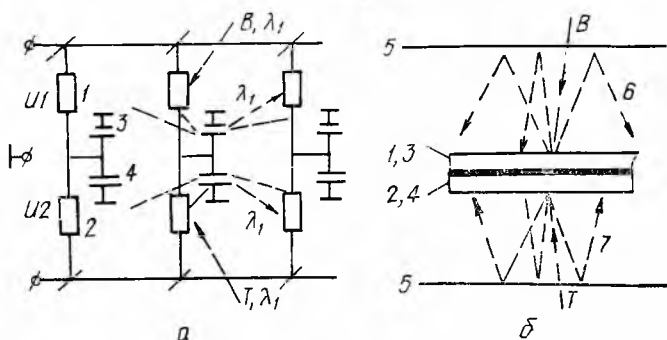


Рис. 2

Торможение воспроизводится за счет использования эффекта оптического гашения фоточувствительности слоя 1, например, инфракрасного гашения, световым потоком с длиной волны  $\lambda_2$  (900—1400 нм).

Континуальная модель рецепторного поля с прямым торможением содержит те же основные слои, что и предыдущая модель. Слой 3 в рецепторной модели выполняется непрозрачным. Эффект распространяющегося возбуждения в модели отсутствует.

Мозаичная конструкция преобразователя состоит из одинаковых ячеек. В каждой ячейке содержится возбуждающий 1 и тормозной 2 фоторезисторы и один или два электролюминесцентные излучатели 3. Все ячейки соединены параллельно. Между излучателями 3 и фоторезисторами 1 и 2 имеются оптические связи (6 — зона возбуждающих оптических связей; 7 — зона

тормозных оптических связей). Их протяженность и интенсивность могут регулироваться при помощи оптических систем, например, подвижных зеркал. Возбуждающая (1, 3) и тормозная (2, 4) группы компонентов оптически разделены. Фоторезисторы и электролюминофоры имеют совпадающие спектральные зоны. Каждая группа после оптического возбуждения может переходить в обратный режим. Оптические потоки обратных связей формируются при помощи плоских зеркал, перемещение которых позволяет плавно деформировать весовые характеристики латеральных связей (рис. 2, б).

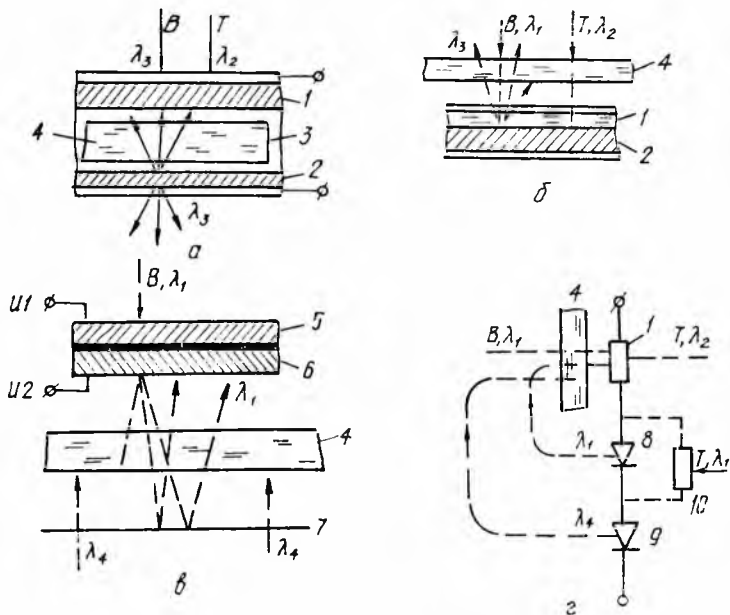


Рис. 3

*Адаптивные модели* (рис. 3). Для придания моделям адаптивных свойств в оптические зоны латеральных связей вводится фотохромное вещество (ФХВ) (рис. 3, 4). Спектральные характеристики компонентов ЭПИ выбираются в зависимости от характера адаптации и состава ФХВ. ФХВ темнеет под действием синего и ультрафиолетового облучения и светлеет под влиянием тепловых процессов и красного излучения [6]. Использование ФХВ в качестве промежуточного слоя непрерывной модели нейристорного типа (рис. 3, а) приводит к обратимому изменению коэффициента обратной связи. Модель выполняется таким образом, что свечение слоя 2 приводит к понижению прозрачности ФХВ (3 — прозрачный слой) и к уменьшению коэффициента световой положительной обратной связи. Это при-

водит к срыву световой генерации, если входное световое возбуждение отсутствует. После прекращения свечения слоя 2 ФХВ становится спустя некоторое время прозрачным под влиянием процесса тепловой релаксации. Для реализации процесса потемнения ФХВ электролюминофор 2 должен излучать в диапазоне 400 нм; такую же спектральную характеристику имеет фоторезисторный слой 1.

В континуальной модели рецепторного поля (рис. 3, б) ФХВ включено в цепь оптического канала на пути входных сигналов. Пока входное изображение  $B$  не достигает пороговой величины, оно способствует увеличению прозрачности ФХВ, так как входной сигнал выбран в красном спектре. При зажигании электролюминесцентного слоя 1 его излучение синего цвета приводит к потемнению ФХВ. При совместном действии входного красного сигнала  $B$  и синего излучения слоя 1 преобладающим является излучение слоя 1. Таким образом, при постоянном входном подпороговом сигнале  $B$  порог модели вначале падает (чувствительность растет), а затем (при зажигании электролюминофора) повышается, а яркость выходного сигнала падает вплоть до прекращения свечения.

В рецепторной мозаичной модели с обратным торможением (рис. 3, в) адаптация производится за счет изменения прозрачности оптической зоны обратных тормозных латеральных связей (10 — тормозной резистор). На ФХВ постоянно действует слабое ультрафиолетовое излучение  $\lambda_4$ , под влиянием которого ФХВ темнеет. Поэтому в начале процесса преобразования изображения при действии постоянного входного сигнала  $B$  коэффициент усиления отрицательной обратной связи, определяемый прозрачностью ФХВ, не достигает своей наибольшей величины, и торможение также невелико. Излучение электролюминофора тормозной группы 6 выбрано в диапазоне 600—700 нм, действующем на ФХВ осветляющим образом. Под влиянием выходного излучения прозрачность ФХВ постепенно растет и интенсивность отрицательной обратной связи (7 — зеркало) увеличивается, а яркость выходного сигнала падает, хотя интенсивность входного сигнала  $B$  остается неизменной.

Схема адаптивной ячейки нейронного пучка приведена на рис. 3, г. Согласно [7], адаптация заключается в постепенном повышении чувствительности ячейки, если на ее возбуждающем (5 — возбуждающая группа) входе сигналы либо отсутствуют, либо имеют подпороговую величину; при появлении сигналов на выходе ячейки ее чувствительности постепенно снижается. При отсутствии возбуждающих сигналов ( $B, \lambda_1$ ) прозрачность ФХВ повышается под действием тепловых процессов. Если выходные сигналы подпороговые, то их влияние приводит к повышению прозрачности ФХВ. В обоих случаях чувствительность ячейки также возрастает. Появление сигналов на выходах ячейки приводит к зажиганию основного красного излучателя 8

и дополнительного ультрафиолетового (или синего) излучателя 9. Преобладающее влияние излучения с длиной волны  $\lambda_4$  при совместном действии излучателей 8 и 9 на ФХВ приводит к потемнению ФХВ и к уменьшению чувствительности ячейки.

**Список литературы:** 1. Коган А. Б., Самарин А. И. Искусственный интеллект и задачи робототехники. — Робототехника. — Л.: Машиностроение, 1976, с. 15—22. 2. Мясников В. А., Игнатъев М. Б., Покровский А. М. Программное управление оборудованием. — Л.: Машиностроение, 1974, с. 300—337. 3. А. с. 272438 (СССР). Модель биологической системы/Ф. Д. Дубинин. — Опубл. в Б. И., 1970, № 19. 4. А. с. 370743 (СССР). Устройство для функционального преобразования оптических сигналов/Ф. Д. Дубинин. — Опубл. в Б. И., 1973, № 11. 5. Дубинин Ф. Д. Принципы построения оптоэлектронных моделей биологических однородных систем. — Проблемы бионики, 1973, вып. 11, с. 95—102. 6. Барачевский В. А., Лашков Г. И., Цехомский В. А. Фотохромизм и его применение. — М.: Химия, 1977. — 279 с. 7. Радченко А. Н. Моделирование основных механизмов мозга. — Л.: Наука, 1968. — 212 с.

*Поступила в редколлегию 28.10.82.*

УДК 612.82.014.42.001.57.

*Г. А. КОЛОТЕНКО*

#### **АЛГОРИТМИЗАЦИЯ СИСТЕМ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ СВЯЗЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

Существующие способы количественного анализа ЭЭГ имеют как положительные, так и отрицательные стороны и позволяют использовать лишь определенную часть полезной информации, заключенной в электрограммах головного мозга. Это приводит к необходимости разработки методического инструментария автоматического системного анализа переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, уточняющего функциональные возможности церебральных структур и систем, что и является целью статьи.

На основе существующих методологических средств, широко используемых в радиотехнике, электронике, автоматике, измерительной технике, предлагается производить не временное, как при кросскорреляционном анализе ЭЭГ, а амплитудное квантование ЭЭГ волн положительной и отрицательной полярности. Использование многопороговых логических элементов позволяет производить параллельный анализ в любой одномоментной вариативности практически необходимого числа ЭЭГ. Механизм многопорогового амплитудного квантования позволяет выделить множество иерархических систем и подсистем пространственно-временных связей головного мозга, отображающих интенсивность и разнообразие ЭЭГ колебаний, многообразно распределенных в пространстве и времени. Это создает дополнительный путь кибернетического анализа биоэлектрической активности головного мозга при норме и патологии.

При моделировании систем синхронных и асинхронных связей головного мозга опускаются не существенные для данного вида кибернетического анализа параметры: скорость нарастания фаз, форма потенциала и т. д., которые могут быть принципиально важными для других ЭЭГ моделей.

В качестве критерия кибернетического анализа систем синхронных и асинхронных связей головного мозга принят минимум вычислительных затрат (минимум объема и времени вычислений), который стал возможен в результате математического обеспечения кибернетического анализа систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, а также возможности реализации приемов анализа распределенных в пространстве и времени ЭЭГ колебаний наиболее современными техническими средствами с учетом стандартизации и унификации многофункциональных микроэлектронных логических блоков и субблоков.

Вследствие индивидуальности репрезентативных ЭЭГ выборок вес систем синхронных и асинхронных связей головного мозга распределен в доверительном интервале, в результате чего возможно сопряжение множества иерархических дифференцируемых систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Множества систем пространственно-временных связей головного мозга могут иметь структурные составы с равным количеством структурных компонент, отличимые хотя бы по одной структурной компоненте. Такие системы пространственно-временных связей головного мозга кодируются признаками однородного вариационного ряда. Системы синхронных и асинхронных связей головного мозга с разными структурными составами образуют признаки вариационных рядов иерархических рангов.

Если структуры систем синхронных связей головного мозга относятся к одному вариационному ряду, то структуры не зависимы, автономны от структур других иерархических рангов и как бы отображают спектр пространственно-временных связей головного мозга. В таком случае образуются системы спектральных синхронных связей головного мозга. Другого рода системы совмещенных синхронных связей головного мозга. Структуры этих систем совмещаются с идентичными компонентами систем пространственно-временных связей головного мозга вариационных рядов других иерархических рангов и зависимы от них. В этом случае структуры варьирующих признаков систем синхронных связей головного мозга низшего ранга по отношению к признакам высшего ранга можно описывать вхождением одной структуры пространственно-временной связи в другую либо вхождением части одного признака в другой.

Структуры множества систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга, как известно, раскрывают «архитектуру» совокупности пространственно-временных

межцентральных отношений. Вес отображает меру проявления структуры за ЭЭГ выборку при различных функциональных состояниях. Вариабельность описывает характер направленности и варьирования ЭЭГ волн во времени и пространстве.

При анализе распределения весов закодированных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, представленной кривой, ограниченной верхним и нижним пределами вероятностного интервала каждого признака вариационных рядов иерархических рангов, пары весов можно анализировать по аналогии со способом Неймана<sup>1</sup>, когда пары случайных точек плоскости равномерно распределены вдоль осей  $v$  и  $f(v)$  внутри прямоугольника, где  $v$  — ось весов;  $f(v)$  — плотность веса закодированных систем синхронных и соответственно асинхронных связей головного мозга. Вероятность того, что случайный вес систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, находящийся под «весовой» кривой  $w(v)$ , окажется в элементарном отрезке  $[v, v+dv]$  вероятного интервала  $[a, b]$  признака, очевидно, пропорциональна  $f(v)$ , а вероятность попадания веса под кривую  $f(v)$  по условию должна равняться единице.

При кибернетическом анализе распределения весов множества иерархических систем синхронных и асинхронных связей головного мозга в случае различных функциональных состояний может быть применен известный из курса математического анализа метод кусочной аппроксимации. Согласно этому методу, (с плотностью весов  $w(v)$ ) экспериментально устанавливается область весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, ограниченная интервалом  $[a, b]$ . Последний разбивается на  $n$  элементарных отрезков  $[v, v+dv]_1, [v, v+dv]_2, \dots$  с помощью этих отрезков, а также триплицеидального и равномерного распределений можно описывать веса индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Элементарной мерой протяженности каждого отрезка является длина. В целом совокупность отрезков представляет вероятностный интервал соответствующего признака, характеризующего распределение веса множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Пусть  $p_i$  — вероятность попадания случайного веса индивидуальной системы пространственно-временных связей головного мозга в один из отрезков  $[v, v+dv]$ . Допустим, реализации ЭЭГ в данном структурном признаке удобно промоделировать кусочно-равномерным распределением весов. Для этого можно воспользоваться следующей алгоритмизирующей схемой преобразования.

1. Выбрать отрезок  $[v, v+dv]$  со случайной вероятностью  $p_i$ .

<sup>1</sup> Быков В. В. Цифровое моделирование в статической радиотехнике. — М.: Сов. радио, 1971. — 214 с.

2. Сформировать реализацию  $v_j$  случайного веса системы пространственно-временной связи головного мозга, равномерно распределенного в отрезке  $[0, (v_i + dv) - v_j]$ .

3. Определить искомую реализацию  $R_{vj}$  по формуле:  $R_{vj} = v_i + dv$ .

Случайный выбор отрезка  $[v, v + dv]$  с вероятностью  $p_i$  означает, по существу, моделирование дискретных весов закодированных индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга идентичных структур, принимающих в этом отрезке  $n$  значений. Алгоритмизация и моделирование веса индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга позволяет при разработке устройства, предназначенного для кибернетического анализа систем ЭЭГ колебаний, приближенно считать: интенсивность биоэлектрических мозаик головного мозга также трудно описуема в деталях, как сложна в деталях поверхность земли, описываемая геодезистами эллипсоидом. Нами интенсивность биоэлектрических мозаик при различных функциональных состояниях описывается при помощи гомоморфных моделей систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

**Непрерывная кривая распределения весов закодированных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, ограниченная предельными значениями весов, позволяет имитировать веса бесконечного множества ЭЭГ выборок.**

Пусть дана кривая распределения, ограниченная пределами  $v_1$  и  $v_2$  вероятностного интервала  $[v_1, v_2]$  признака  $i$ -го вариационного ряда. Разбивая интервал признака на квантуемые отрезки и рассматривая каждый из них как кривую, ограниченную пределами соответствующего отрезка, последовательно расположенные отрезки складывают и получают общую форму кривой распределения весов множества систем синхронных связей головного мозга определенных структур. Оценку кривой распределения весов индивидуальных систем синхронных связей головного мозга в данном случае эффективнее всего производить по критерию Пирсона. Будем рассматривать неограниченное число дискретных весов анализируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга соответствующих идентичных структур как непрерывную кривую. Эта кривая при кибернетическом анализе разбивается на дискретные величины. Затем производится линейно-кусочная аппроксимация, строится непрерывная кривая. При таких взаимообращениях тенденция к нормализации случайных весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга может быть принята приближенно, так как не выполняется условие конечности дисперсии и даже математического ожидания. При условии кибернетического анализа неопределенного множества ЭЭГ выборок устанавливается вероятностный интервал признака  $i$ -го вариационного ряда с меняющимися пределами

весов анализируемых систем синхронных или асинхронных связей головного мозга.

Анализ экспериментального материала 360 ЭЭГ выборок показал, что распределение весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга иерархических структур крайне неоднородное, поэтому характеризоваться определенным законом распределения случайных величин не может. Вместе с этим имеется возможность алгоритмизации и моделирования аппроксимированного распределения веса множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга иерархических структур. При этом основная задача заключается в том, чтобы выявить вероятностные направленности весов множества индивидуальных систем синхронных или асинхронных связей головного мозга идентичных структур, отбросить несущественное, второстепенное; материал, поддающийся дифференцируемому вероятностно-статистическому анализу, представить в компактной графо-аналитической форме.

Чаще всего используют Гауссово распределение. Так как слагаемый закон распределения конечной суммы ЭЭГ выборок будет совпадать с нормальным в условном случае, то нормальное распределение веса множества индивидуальных систем синхронных или асинхронных связей головного мозга по информационной способности будет располагать приблизительно равными льготами по сравнению с другими законами распределения.

Так как вероятностные интервалы не равны, а веса множества индивидуальных систем синхронных или асинхронных связей головного мозга равновероятностны, то последние могут быть распределены по закону равномерной плотности:

$$f(v) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{при } a \leq v < b; \\ 0 & \text{при } v < a, v > b. \end{cases}$$

Функция равномерного распределения веса множества индивидуальных систем головного мозга идентичных структур при различных функциональных состояниях может быть описана при помощи следующего математического алгоритма:

$$F(v) = \int_a^b f(v) dv = \begin{cases} \frac{v-a}{b-a} & \text{при } a \leq v < b; \\ 0 & \text{при } v < a, v > b. \end{cases}$$

Центр вероятностного интервала  $[a, b]$  весов  $i$ -го признака  $i$ -го вариационного ряда, характеризует центр тяжести веса множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга  $i$ -структур, алгоритмизируется первым начальным моментом. Квантуемые отрезки кривой распределения

веса множества индивидуальных систем головного мозга по методу кусочной аппроксимации также определяются первым начальным моментом:

$$v_1 = \int_a^b v \frac{1}{b-a} dv = \frac{b+a}{2} = M(v) = \sum_{i=1}^n v_i p_i.$$

Как видно, первый начальный момент представляет математическое ожидание, равное сумме произведений возможных весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга на соответствующие им вероятности. Алгоритм  $M(v) = v_1$  моделирует абсциссу центра тяжести множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга идентичных структур, закодированную абсциссой центра тяжести вероятностного интервала соответствующего признака вариационного ряда.

Отклонение от центра вероятностного интервала весов признака  $M(v) = v_1$  определяется центральным моментом  $\mu_1$ :

$$\begin{aligned} \mu_1 = M(\overset{\circ}{v}) = M(v - m_v) &= \sum_{i=1}^n (v_i - m_v) p_i = \sum_{i=1}^n v_i p_i - m_v \times \\ &\times \sum_{i=1}^n p_i = m_v - m_v = 0. \end{aligned}$$

Центрирование равносильно переносу начальных координат в среднюю (центральную) точку, абсцисса которой равна центру тяжести кривой распределения множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга иерархических структур.

Второй начальный момент  $v_2$  алгоритмизируется дисперсией, характеризуя рассеивание, разбросанность весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга идентичных структур около  $M(v)$ :

$$v_2 = \frac{1}{3} (a^3 + ab + b^3) = D(v) = \sum_{i=1}^n (v_i - m_v)^2 p_i.$$

Для равномерного распределения весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга второй центральный момент равен

$$\mu_2 = \int_a^b [v - M(v)]^2 \frac{1}{b-a} dv = \frac{(b-a)^2}{12}.$$

Начальные моменты третьего и четвертого порядка:

$$\nu_3 = \frac{1}{4} (a^3 + a^2b + ab^2 + b^3);$$

$$\nu_4 = \frac{1}{5} (a^4 + a^3b + a^2b^2 + ab^3 + b^4).$$

Третий центральный момент  $\mu_3$  служит эмпирической мерой асимметрии или «скошенности» весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга при различных функциональных состояниях. Разность между  $\mu_3$  и  $\mu_4$  характеризует степень сглаженности, крутизну, т. е. острровершинность или плосковершинность кривой распределения весов множества анализируемых индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Для равномерного распределения третий  $\mu_3$  и четвертый  $\mu_4$  моменты весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга равны:

$$\begin{aligned} \mu_3 &= \nu - 3\nu_1 \cdot \nu_2 + 2\nu_1^3 = 0; \quad \mu_4 = \nu_4 - 4\nu_3 \cdot \nu_1 + 6\nu_2 \cdot \nu_1^2 - 3\nu_1^4 = \\ &= \frac{1}{80} (b - a)^4. \end{aligned}$$

Корень квадратный из дисперсии равен «стандарту» или среднеквадратическому отклонению  $\sigma = \sqrt{\mu_2}$  весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга:

$$\sigma = \frac{b - a}{2\sqrt{3}}.$$

Чем меньше разброс весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, тем четче их направленность и возможная дифференцируемость.

Без учета направленности весов их равномерное распределение симметрично относительно математического ожидания  $\nu_2 = (a+b)/2$ . При равномерном распределении соотношения скученности весов множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга и отрезков между ними может произойти компенсация и смещение общего центра тяжести. Индивидуальные отклонения от центров скученности весов вероятного интервала признака и общие направленности каждого квантуемого отрезка при равномерном распределении не учитываются. При равномерном распределении множества индивидуальных систем головного мозга центр сгруппированных весов этих систем и центр тяжести вероятностного интервала, характеризующего эти системы, принят за центр сгруппированных весов условно.

Для оценки «крутости», т. е. большего или меньшего подъема кривой распределения веса множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга идентичных структур, пользовались эксцессом. Кривые, имеющие более острую вершину, по сравнению с кривой нормального распределения, обладают положительным эксцессом, кривые с более плоской вершиной — отрицательным. Коэффициент эксцесса для равномерного распределения веса множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга

$$\epsilon_k = \frac{\mu_4}{\sigma_4^2} - 3 = -1,2.$$

Таким образом, множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга независимо от индивидуальных особенностей ЭЭГ несут при различных функциональных состояниях общие сведения. Иррелевантная информация, представляющая помехоподобные маловероятные, флуктуирующие системы синхронных и асинхронных связей головного мозга с неопределенным распределением веса систем, отсеиваясь при информационном поиске, может учитываться при оценке самой общей направленности пространственно-временных связей головного мозга.

Алгоритмизация параметров множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга позволяет отработать математические средства дифференциации пространственно-временных отношений электрически активированных зон регистрации головного мозга при различных функциональных состояниях. Проявляется критерий эффективности кибернетического анализа ЭЭГ, заключающийся не столько в сокращении и экономичности вычислительных затрат, сколько в ценности информационных сообщений.

Синтез гомоморфных моделей позволяет представить исходную концептуальную модель распределения множества индивидуальных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга в виде автоматизированной программы. Динамика соотношений координат ее меняется в зависимости от числа зон регистрации ЭЭГ, величины репрезентативной выборки и различных функциональных состояний организма при норме и патологии.

Вероятность взаимосвязанных систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга обеспечивает высокостабильную надежность функционирования целостного мозга и позволяет дифференцируемые ЭЭГ показатели после предварительной кибернетической дешифрации сопрягать с ЭВМ.

*Поступила в редколлегию 13.08.82.*

А. А. МИХАЙЛОВ, Б. И. КАРУНА,  
Г. В. КОСМАЧЕВСКИЙ, С. Ф. ТАНЯНСКИЙ

### ОЦЕНКА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОГЕМОЦИРКУЛЯЦИИ

Микроциркуляция является фундаментальным процессом, посредством которого клетки тканей получают питание и освобождаются от метаболитов. Без адекватной микроциркуляции невозможны нормальный обмен веществ и функционирование любого органа тела. О размахе исследований микроциркуляции свидетельствует тот факт, что за последние 20 лет в США проведено 19 национальных конференций, в Европе — 12. Издан ряд программных монографий, среди которых особого внимания заслуживают [1—3].

По выражению академика А. И. Струкова, «окном в микроциркуляцию» является глазное яблоко, его конъюнктивальная и ретинальная микрососудистые сети.

В настоящее время методика микроскопии и микрофотографирования конъюнктивальной микрогемодикуляции широко используется в клинике при заболеваниях сердечно-сосудистой системы — ревматизме, атеросклерозе, гипертонической и ишемической болезнях сердца, инфарктах миокарда, хирургической, дерматологической патологии и т. д.

В современном понимании система микроциркуляции — это совокупность сосудов с диаметром просвета 2—250 микрон: артериол прекапилляров, капилляров, посткапилляров и венул, упорядоченных по своему расположению в тканях. Все они принимают участие в транспорте крови и в обмене веществ — основной функции живого.

Кровоток в системе микроциркуляции контролируется как центрально, так и местно. Важная регулирующая роль кровотока в микроциркуляторном русле принадлежит местным гуморальным влияниям. Может считаться установленным тот факт, что подобная гуморальная ауторегуляция осуществляется тем интенсивнее, чем менее выражены первые влияния. Таким образом, регуляция периферического кровообращения относительно автономна и в целом сложнее, чем регуляция центрального кровообращения.

Преимущество бульбарной конъюнктивы как объекта исследования микроциркуляции заключается в поверхностном расположении сосудов в одной плоскости, что позволяет в деталях наблюдать движение крови в микрорайоне артериола—капилляр—венула. Хорошее оптическое разрешение достигается благодаря контрасту эритроцитов на белом фоне склеры [4].

Наличие естественной омывающей жидкости — слезы — в известной степени препятствует нагреванию конъюнктивы в результате теплового воздействия осветительного устройства.

Вопрос о том, в какой мере состояние микроциркуляции в конъюнктиве отражает состояние микроциркуляции в других органах и тканях, окончательно не решен. Но как указывает автор работы [5], хотя нет недостатков в критических замечаниях, касающихся неправильности строения конъюнктивального кровотока и условностей распространения полученных результатов на состояние конечного сосудистого русла других органов, тем не менее бульбарная конъюнктура, именно вследствие своего «неправильного и нехарактерного» расположения сосудов, представляет идеальные условия для отражения закономерностей системной микроциркуляции.

Для биомикроскопии и микрофотографирования микрососудов бульбарной конъюнктивы применяется отечественный капиллярскоп серийного производства типа М-70 А и зеркальная фотокамера «Зенит», соединенная переходным кольцом с капилляроскопом. Освещение объекта исследования при съемке достигается электронно-импульсной лампой-вспышкой «Луч-70». Голова больного фиксируется с помощью штатива с широким основанием для придания большей устойчивости. На вертикальной стойке штатива располагаются упоры для подбородка и лба. Лампа-вспышка находится на заданном удалении от объекта съемки, что обеспечивает его постоянное освещение. Пульт управления прибором имеет тумблер напряжения на 12 В и выключатель электропитания лампы-вспышки. Для исследования применяются окуляры с ув. 4, 10, 15 и объектив с ув. 7. Больше увеличение затрудняет фокусировку оптической системы на объект исследования. Для повышения контрастности изображения микрососудов на фотопленке используется сине-фиолетовый светофильтр. Микрофотографирование производится на черно-белую негативную пленку светочувствительностью 65 ед. по ГОСТу. Установка монтируется на передвижном столике, что позволяет производить исследования микроциркуляции в клинике, поликлинических условиях, выездных амбулаториях, медицинских пунктах промышленных предприятий и т. д.

Анализ микроскопической картины проводится по фотоснимку. Для измерения линейных размеров сосудов на фотографии используется объект-микрометр с ценой деления 0,1 мм (ГОСТ 7513—55). Исследования производятся в сидячем положении больного, который фиксирует взгляд вверх и вправо при исследовании левого глаза, вверх и влево — при исследовании правого. Такая фиксация взгляда обеспечивает наиболее удобное для исследования расположение микрососудов. Микрососуды конъюнктивы располагаются в поверхностных отделах оптического среза, имеют ярко-красный цвет, малый калибр, ветвисты. Глубже расположены эписклеральные сосуды, отличающиеся

более насыщенной окраской, большим калибром. Кровоснабжение конъюнктивы осуществляется из бассейна внутренней и наружной сонных артерий. Отток крови осуществляется по ветвям из системы глазничной вены.

По микрофотографиям возможна идентификация микрососудов на основании морфологических отличий. Артериолы и вены обычно расположены вместе, артериолы проходят прямыми стволами, вены извилисты, диаметр их больше и они более контрастны на микрофотографиях. Прекапиллярные артериолы, капилляры и посткапиллярные вены отличаются калибром (8—18 мкм) и характером расположения, так как они соединяют артериолы и вены. Стенки сосудов и пристеночный слой плазмы составляют 2—3 мкм и не видны на микрофотографии. Их диаметр возможно определить по видимому осевому слою эритроцитов. Для получения линейного размера сосудов к осевому размеру рекомендуется добавить по 2—3 мкм с каждой стороны. В связи с тем, что в капиллярах эритроциты непосредственно соприкасаются с сосудистой стенкой, их размеры определяются по осевому слою эритроцитов.

Микроскопически можно различать спазм (констрикцию), расширение (релаксацию) микрососудов, внутрисосудистую

Локализация нарушений	Характер нарушений	Степень выраженности нарушений	Оценка нарушений в баллах
Структура и функция микрососудов	Соотношение диаметров артериол и венул	1:3 — 1:5 1:6 — 1:8	1 3
	Нарушение параллелизма сосудов	—	1
	Неравномерность калибра	—	1
	Меандрическая извилистость	—	1
	Венулярные саккуляции	—	1
	Микроаневризмы	—	1
	Сетевидная структура сосудов	—	2
	Изменение количества функционирующих капилляров	Увеличение Резкое уменьшение	1 3
	Артериоло-венулярные анастомозы	—	2
	Внутрисосудистые изменения	Венулы	—
Сладж-феномен		Капилляры	2
Микротромбы		Артериолы Венулы	3 3
Внесосудистые изменения	Артериолы	—	6
	Периваскулярный отек	—	1
	Микрогеморрагии	Единичные Множественные	1 2

агрегацию эритроцитов, сладж-синдром, внутрисосудистое свертывание крови.

Для количественной оценки изменений конъюнктивальной микроциркуляции высокой информативностью обладает система критериев, приведенная в таблице (по Ю. К. Скрипкину, И. И. Маврову, Б. И. Каруне). Данная система оценки позволяет дать количественную оценку изменения сосудов, вне- и внутрисосудистым нарушениям микроциркуляции, объективно оценить функциональные и морфологические нарушения. Критерии имеют балльную градацию, что позволяет для характеристики нарушений микроциркуляции рассчитать количественный критерий — конъюнктивальный показатель. У здоровых лиц он колеблется от 1 до 6 баллов, в среднем составляет  $2,89 \pm 0,04$  балла.

Клиническая апробация данной системы продемонстрировала широкие возможности количественной дифференциальной диагностики изменений микроциркуляции при различных физиологических и патологических состояниях [6].

Мы провели исследования по оценке конъюнктивальной микроциркуляции испытуемых, имитирующих работу оператора на экспериментальной модели пульта управления АСУ ТП в различных временных и скоростных режимах работы.

Проведенные нагрузки сопровождались четкими качественными и количественными изменениями конъюнктивальной микроциркуляции: в динамике работы претерпевали изменения как сосудистый тонус, так и интра- и перивазальный статус. Наиболее существенным и воспроизводимым явлением в системе конъюнктивальной микроциркуляции была реакция резистивных отделов сосудистого русла, в частности, артериол. Последние в динамике сокращались и в результате уменьшалось в сравнении с исходным соотношение диаметров артериол и соответствующих им венул. В то время как исходное соотношение диаметров равнялось 1:2, 1:3, то в конце эксперимента оно достигало 1:4, 1:5. Наряду с констрикцией артериолярного сектора микроциркуляторного русла наблюдалась агрегация эритроцитов, сначала в венулах, а затем и в капиллярах. Агрегация эритроцитов косвенно свидетельствует о нарушении проницаемости кровеносных капилляров. Повышенная агрегация эритроцитов и проницаемость стенок кровеносных капилляров вели к фрагментации кровотока. Последнее явление было непостоянным, обратимым и развивалось преимущественно у испытуемых в возрасте старше 40 лет.

Описанные качественные различия при расчете конъюнктивального показателя по данной системе критериев получили количественное цифровое выражение. Так, если до эксперимента средний конъюнктивальный показатель в целом по группе составлял  $3,18 \pm 0,47$  баллов, то после эксперимента он возрос до  $4,42 \pm 0,89$  баллов ( $P < 0,05$ ).

Таким образом, можно констатировать, что нагрузка приводит к достоверным качественным и количественным изменениям микроциркуляции у операторов с преимущественными нарушениями сосудистого тонуса эритроцитарного гомеостаза.

Известно, что нагрузка у операторов сопровождается изменением функционального состояния нейрогуморальных систем. При этом наблюдается повышенная концентрация в крови адреналина, норадреналина, кортизола и его метаболитов, обладающих синергизмом в отношении воздействия на сосудистую стенку, что в сочетании с изменением функционального состояния центральной нервной системы приводит к вазоконстрикции и изменению эритроцитарного гомеостаза, которые в наших наблюдениях обнаружены в сосудистом русле бульбарной конъюнктивы. Таким образом, можно говорить о выявлении важного нового звена — патологии нейрогуморальной регуляции микроциркуляции в патогенезе синдрома адаптации, частным проявлением которого является рассматриваемый феномен нагрузки у операторов [7].

*Выводы.* Метод биомикроскопии и микрофотографирования конъюнктивы склеры достаточно информативен для объективной оценки состояния микроциркуляции — важного звена сердечно-сосудистой системы. В эргономических исследованиях данный метод может применяться с целью выявления ранних стадий наступающего утомления, которые другими методами не удастся зарегистрировать. Представляется целесообразным внедрить данный метод в широкую практику эргономических исследований.

**Список литературы:** 1. Чернух А. М., Александров П. И., Алексеев О. В. Микроциркуляция. — М.: Медицина, 1975. — 456 с. 2. Малая Л. Т., Микляев И. Ю., Кравчун П. Г. Микроциркуляция в кардиологии. — Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1977. — 232 с. 3. Журавлева Е. К., Микляев И. Ю. Микроциркуляция: Указатель литературы 1950—1976. — Х.: Ротапринт ХМИ, 1978. — 103 с. 4. Оценка состояния микроциркуляции методом конъюнктивальной биомикроскопии/В. С. Волков, Н. Н. Высоцкий, В. В. Троцюк, В. И. Мишин. — Клини. медицина, 1976, 54, № 7, с. 115—119. 5. Böhme H. Zschr. inn. med., 1972, 25, S. 670—874. 6. Клиническая диагностика нарушений микроциркуляции у больных экземой. Методические рекомендации/Ю. К. Скрипник, И. И. Мавров, Б. И. Каруна, Ю. Б. Пантелеев. — Х.: ХМИ, 1981. — 15 с. 7. Khydensky J., Mikhajlov A., Miklyaev L. Evaluation of Psychophysiological state of operator's by means of Conjunctival microcirculation. XXII International congress of Psychology. — Leipzig, GDR, Abstract Guide, 1980, 2. — 579 p.

Поступила в редколлегию 28.10.82.

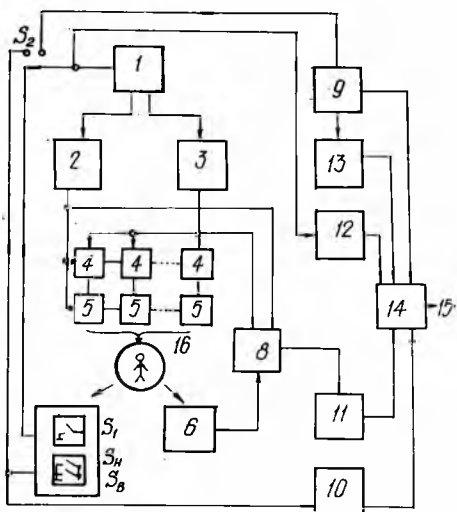
**СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОПЕРАЦИОНАЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

В условиях научно-технического прогресса происходит постоянная интенсификация работ, связанных с информационным аспектом деятельности человека. Действия оператора в общем можно свести к выполнению операций по приему и обработке поступающей информации, принятию на ее основе решений, выдаче управляющих команд. Одним из методов исследования этих звеньев деятельности человека-оператора является моделирование условий и специфики работы в лабораторных комплексах, где осуществляется контроль за качеством работы, за текущим состоянием. Результаты моделирования позволяют с той или иной степенью точности проанализировать взаимодействие цепи «источник информации — человек-оператор — объект управления», с учетом индивидуально-типических особенностей и характера физиологического состояния выявить количественно-качественные оценки деятельности оператора. Нашей задачей, как и работ [1—4], было обеспечить оптимальную работоспособность человека-оператора в зависимости от его конкретного психофизиологического состояния, индивидуальных особенностей и показателей качества деятельности. Эту задачу можно решить методом моделирования операциональной деятельности в биотехнических системах, подобных разрабатываемой в отделе нейробионики ИК АН УССР [1, 3].

В статье предлагается метод оценки качества деятельности с помощью анализатора операциональной деятельности (АОД), который используется как функциональный блок биотехнической системы предъявления информации, контроля, прогнозирования и управления состоянием человека-оператора. АОД обеспечивает сбор информации о временных, точностных, надежностных характеристиках деятельности. Одновременно с ним функционирует анализатор психофизиологического состояния (АПФС). Сведения о параметрах деятельности человека с блоков АОД и АПФС поступают в общий анализатор качества деятельности (ОАКД), представляющий собой вычислительное устройство с заранее заданными критериями оценки качества деятельности. В случае отклонения исследуемых результатов от эталонных в автоматическое управляющее устройство (АУУ) поступает сигнал. АУУ может, с одной стороны, изменить характер деятельности (например, изменить темп предъявления информации, очередность выполнения заданий), с другой — поддерживать заданные характеристики того или иного физиологического параметра оператора для обеспечения режима оптимальной работоспособности.

Выполнение АОД на современном техническом уровне позволило создать устройство, использование которого в автономном режиме может оказаться полезным для прикладных исследований в полевых условиях, на производстве и т. п. Возможность анализа числовых данных о работе оператора позволяет вычислить ряд коэффициентов, необходимых для оценки качества операциональной деятельности. Наличие в анализаторе режима «Самоконтроль» позволяет более полно исследовать надежность качества оператора.

По своему схемному построению АОД является частным случаем использования принципов исследования деятельности человека-оператора. На структурно-функциональной схеме (рисунок) показаны основные узлы и связи анализатора: 1 — генератор случайных сигналов; 2 — блок формирования цвета; 3 — блок формирования координаты; 4 — светоиндикаторы одного цвета свечения; 5 — светоиндикаторы другого цвета свечения — матричное табло предъявления информации; 6 — пульт ответных действий; 7 — блок формирования «сброса»; 8 — блок сравнения; 9 — таймерное устройство; 10, 11, 12, 13 — счетчики количества субъективных оценок «ВЕРНО» — «НЕ ВЕРНО», количества ошибок, количества операций, полного цикла времени соответственно, 14 — блок выходных индикаторов; 15 — внешнее вычислительное устройство; 16 — человек-оператор.



При нажатии клавиши «сброса»  $S_1$  включается генератор случайных сигналов 1, с выхода которого сигналы поступают в блок формирования цвета 2 и блок формирования координаты 3. Далее сигналы поступают на индикаторное табло предъявления информации. Оно представляет собой наборную светоиндикаторную панель матричного вида, каждая ячейка которой состоит из двух светодиодов разного цвета свечения (например, красного и зеленого). Для исследования характеристик операциональной деятельности оптимальной представляется матрица размера  $4 \times 4$ . При размыкании ключа  $S_1$  отключается генератор случайных сигналов 1 и на матричной панели 4, 5 оператору предъявляется визуальная информация в виде свечения одной из ячеек в определенном цвете.

Задание, выполняемое оператором, заключается в том, чтобы определить координаты светящейся ячейки (в заданной системе координат) и нажать затем соответствующие клавиши на пульте ответных действий 6. Предусмотрено следующее усложнение деятельности посредством переключения внимания человека-оператора: каждому цвету свечения соответствует своя координатная система отсчета и свой порядок нажатия клавиш ответных действий. После выполнения задания оператор должен снова замкнуть ключ  $S_1$  и таким образом осуществить «сброс» и задание новой информации. Операцию «сброса» можно также использовать для извлечения дополнительной информации о качестве деятельности, например для получения параметра самооценки. При этом вместо клавиши  $S_1$  в блоке формирования «сброса» 7 необходимо использовать две параллельно соединенные клавиши ( $S_B$  — для субъективной оценки «ВЕРНО»,  $S_H$  — для субъективной оценки «НЕ ВЕРНО»). В этом случае от оператора требуется следующее: после коммутации ответа осуществить «сброс» путем нажатия на одну из этих клавиш, тем самым субъективно оценив правильность выбора ответного действия. Информация о субъективной самооценке поступает в блок выходных индикаторов 14 и может использоваться в дальнейшем для вычисления соответствующего коэффициента.

Сигнал о выбранном ответе поступает на вход блока сравнения 8, на его другие входы поступают эталонные сигналы о действительных значениях координат и цвета. В логическом устройстве происходит сравнение ответа с исходными данными, и в случае несовпадения на входе появляется сигнал ошибки.

В таймерном устройстве 9 осуществляется выбор номинального отрезка времени, отводимого на выполнение одной операции. Величина такого отрезка определяется экспериментатором и зависит от данных тестовой проверки оператора, степени обученности, профессиональных навыков, от требования имитации определенной степени напряженности трудового цикла и т. п.

Как видно из структурно-функциональной схемы, существует вариант включения тумблера  $S_2$ , при котором «сброс» и задание визуальной информации осуществляется автоматически при поступлении сигнала об окончании номинального интервала. Такой способ включения позволяет исследовать работу оператора в условиях «дефицита времени». Однако описание критериев качества деятельности испытуемого в этом режиме не входит в задачи данной статьи.

Блок входных индикаторов 14, кроме указанных выше величин, позволяет фиксировать данные о количестве предъявлений, общем времени эксперимента, значении номинального интервала. Исходя из этих данных о работе оператора, можно, в частности, вычислить следующие коэффициенты качества деятельности.

1) Коэффициенты использования времени  $K_{ив} = \frac{ЧП}{НИ} \cdot \frac{ОВ}{НИ}$ ,

где ЧП — число предъявлений; ОВ — общее время эксперимента, НИ — номинальный интервал. Коэффициент в относительных единицах отражает степень использования времени при выполнении задания (1 — соответствует норме,  $>1$  — существуют резервы,  $<1$  — работа в «цейтноте»).

2) Коэффициент качества счета

$$K_{кс} = \frac{ЧП - ЧО}{ЧП}.$$

Здесь ЧП — число предъявлений; ЧО — число ошибок.

Значения коэффициента изменяются в пределах 0...1 (1 соответствует безошибочному выполнению задания).

3) Коэффициент самооценки

$$K_{со} = 1 - \frac{ЧО - Н}{ЧО},$$

где ЧО — число ошибок, Н — число нажатий клавиши «НЕ ВЕРНО». Коэффициент характеризует способность оператора анализировать свои действия и исправлять допущенную ошибку. Значения  $K$  лежат в пределах 0...1 (1 отражает полный самоконтроль действий).

*Замечание:* из формулы для  $K_{со}$  видно, что при  $ЧО=0$  значение  $K_{со}$  теряет смысл, но как показывает эксперимент, при достаточном количестве предъявлений ЧО всегда положительное.

В АОД и АПФС предусмотрен вывод на внешнее вычислительное устройство 15 (например ОАКД), которое позволяет оценить качество деятельности как совокупность параметров операциональной деятельности, индивидуальных особенностей и текущего функционального состояния в реальном масштабе времени.

Предложенный метод оценки качества деятельности позволяет моделировать различные виды операциональной деятельности, проводить контроль, прогнозирование и управление состоянием человека-оператора в зависимости от показателей качества его деятельности, исследовать функцию самоконтроля, проводить управляемый эксперимент.

**Список литературы:** 1. Березанец Т. А., Семик Т. М., Шумилина Л. И. Диагностика и прогнозирование надежности человека-оператора в стрессовых ситуациях. — Моделирование физиологических и биологических процессов, 1977, с. 60—69. 2. Венда В. Ф. Инженерная психология и синтез отображения информации. — М.: Машиностроение, 1975. — 395 с. 3. Психофизиология оператора в системах человек-машина. — К.: Наук. думка, 1980. — 340 с. 4. Схябюк В. Е. Автоматизированный комплекс для психологических экспериментальных исследований. — Методы и средства исследования человеко-машинных систем, 1980, вып. 21, с. 42—51.

Поступила в редколлегию 10.12.82.

### О РОЛИ РЕТИКУЛЯРНОЙ ФОРМАЦИИ В РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ. Сообщение 4'

Как известно, «нейронную организацию ЦНС в целом характеризуют три типа структуры-ретикулярной, ядерной и корковой» [3, с. 4], причем только ретикулярный отличается аутохтонной (самопроизвольной) генерацией нервных импульсов. Это позволяет рассматривать ретикулярную формацию (РФ) как биоэнергетический узел нашего организма, своего рода «биологическую электростанцию», ретикулярные нейроны которой в течение жизни непрерывно генерируют нервные импульсы со своими специфическими признаками генерации, характерными для ее разных локальных участков. Частота их генерации неоднозначна для разных групп РН, расположенных в различных участках РФ, и колеблется от 0,1 до 1000 Гц.

Поскольку энергетический потенциал, генерируемый РН, слабый, то в нейронной организации ЦНС существуют усилительные клетки, роль которых выполняют ядерные нейроны (ЯН). Анализ литературных данных показывает, что РФ, с одной стороны, нельзя больше рассматривать как сетчатую диффузную структуру [4], а с другой — ее значение в регуляции функциональных систем (ФС) организма не дооценивается. А между тем РФ является одним из основных звеньев, под активирующим влиянием которой находятся практически все системы организма и без которого ни одна из них не может функционировать. Наша оценка роли РФ в регуляции С—С строится с учетом следующих основных положений.

1. РФ рассматривается как биоэнергетический узел нашего организма в виде центрального (бульбарного) узла и ряда периферических узлов, включая и спинальные.

2. РН — генераторы нервных импульсов, а ЯН — их усилители.

3. РФ характеризуется своим аутохтонным интегральным энергетическим потенциалом  $E_p$ , в соответствии с которым определяется степень ее активирующей функции по восходящим и нисходящим путям. Причем,  $E_p$  — результат суммы энергетических потенциалов ( $e_p$ ) отдельных локальных участков РФ, т. е.

$$E_{p_i} = \sum_{i=1}^{i=p} l_p = \sum_{i=1}^{i=p} k(f_1 + f_2 + \dots + f_p).$$

<sup>1</sup> Статья является продолжением работ [1, 2] с сохранением обозначений и сокращений.

Исходная величина  $E_{p0}$  соответствует фазе медленного сна без сновидений. Текущее значение  $E_{pi}$  при состоянии бодрствования определяется так:  $E_{pi} = E_{p0} + \Delta E_{pi} = k(f_0 + \Delta f_i)$ , где  $\Delta E_p$  — приращение энергетического потенциала РФ за счет стимуляции ее интегрирующих звеньев: вставочных и ядерных нейронов сигналами из коры  $I_k$  и сигналами внешней афферентации разной модальности, среди которых афферентный сигнал с сетчатки является доминирующим;  $f_0 \Delta f_i$  — соответственно средняя частота генерации нервных импульсов РН в исходном состоянии и ее приращение при стимуляции интегрирующих звеньев РФ.

4. Наличие  $E_p$  определяет существование биоэнергетического поля человека, величина и направленность которого зависят от особенностей индивида.

5. Для РФ с ее постоянным значением  $E_p$  конкретно для каждого индивида свойственно явление мобильного (преимущественного) перераспределения его на те ФС, которые на текущий момент времени выполняют наибольшую функциональную нагрузку в сравнении с другими ФС.

6.  $E_p$  РФ находится под контролем коры и в частности ее структур, ответственных за интегративную деятельность мозга (ИЦМ), которые своими сигналами  $I_{ицм}$ , поступающими в РФ главным образом по кортико-ретикулярным связям, могут оказывать как возбуждающее, так и тормозящее воздействие на активирующую функцию РФ в соответствии с уравнением:  $I_{эсi} = I_{эс0} \pm k I_{ицм}$ .

7.  $E_p$  РФ находится также под контролем внешней и внутренней афферентации, оказывают главным образом стимулирующее воздействие на тоническую РФ в соответствии с уравнением:

$$I_{эсi} = I_{эс0} + k \sum_{i=1}^{i=p} I_{ai}$$

С учетом же сигнала  $I_{ицм}$  уравнение примет вид:

$$I_{эсi} = I_{эс0} + k \sum_{i=1}^{i=p} I_{ai} \pm k I_{ицм}$$

8. Структурная организация РФ построена по дифференцированному принципу, в соответствии с которым каждый ее локальный участок со своей группой ЯН направляет свою активирующую функцию на свои ФС.

9. Аутохтонная генерация РН характеризуется несколькими формами, которые в общем виде можно разделить на тоническую и фазическую, и как следствие этого РФ можно представить в виде тонической РФ (ТРФ) и фазической РФ (ФРФ). При этом ТРФ является очагом зарождения симпатической

нервной системы и определяет в ней характер нервной импульсации, в то время как фазическая РФ, наоборот, связана с парасимпатической нервной системой (ПНС). Активирующая функция ТРФ направлена, главным образом, на организацию тонуса висцеральной системы, включая гладкую мускулатуру в виде тонических мышечных волокон разного калибра, а также гипоталамо-гипофизарную систему. Свое активирующее воздействие ТРФ осуществляет через симпатические цепочки, каждая из которых включает свою группу РН с их аутохтонной генерацией нервных импульсов, с чего, собственно, и начинается зарождение типовой симпатической цепочки, группу вставочных нейронов с их интегрирующей функцией афферентных сигналов разной модальности, ядерные нейроны, выполняющие, наряду с интегрирующей функцией, роль усилителей слабого по энергетическому потенциалу у аутохтонного сигнала РН, группу промежуточных нейронов на уровне спинного мозга, группу экстрамуральных ганглиев с их функцией мультипликации аутохтонного сигнала и эффекторное звено, на которое направлено активирующее воздействие РН ТРФ. Кроме того, на разных уровнях этой цепочки в виде местных рефлекторных дуг, а также длинных афферентных цепей замыкаются обратные связи с рецепторов разной конфигурации, начиная с экстрамуральных ганглиев вплоть до вставочных нейронов продолговатого мозга, где локализована ТРФ.

10. РФ ответственна за трофику и регуляцию ФС, адекватную внешним условиям.

11. РФ характеризуется индивидуальными признаками и предопределяет психологический статус индивида.

12. Формирование  $E_p$ РФ в онтогенезе происходит путем его возрастного наращивания за счет роста числа РН и развития межнейронных связей.

Прежде чем перейти к оценке роли РФ в регуляции С—С, кратко остановимся на анализе ее основных положений, на базе которых строится вся регуляция С—С.

Допуская наличие двух видов ТРФ на уровне ствола мозга и в частности в продолговатом мозге (ТРФПМ), а возможно в среднем (ТРФСМ) и спинном мозге (ТРФСпМ), следует сказать об их роли и взаимоотношении между ними. В общем виде их можно представить следующим образом. ТРФСпМ активирует в основном те ФС, органы, афферентные сигналы с интерорецепторов (ИР), которые замыкаются в рамках спинальной рефлекторной дуги (СРД). Причем, сигналы  $I_{ан}$  с ИР через интермедиолатеральные ядра (ИМЯ) корректируют активирующую функцию ТРФСпМ.

ТРФПМ, активирующая функция которой находится преимущественно под контролем афферентных сигналов  $I_a$  разной модальности периферических внешних сенсорных аппаратов, а также сигнала  $I_{идм}$  из ИЦМ коры, в основном направлена в сто-

рону восходящих путей. Ее координирующая, как центрального пункта ТРФ, а точнее, корректирующая функция, адекватная сигналам  $I_a$  и  $I_{идм}$ , по нисходящим путям осуществляется через ТРФСпМ, которая в иерархической структуре ТРФ находится под контролем ТРФПМ. Именно через последнюю корректируется активирующая функция ТРФСпМ в соответствии с внешней афферентацией и интегративной деятельностью мозга и тем самым формируется ее адапционно-трофическая направленность в соответствии с внешними условиями индивида. При такой структурной организации ТРФ отпадает необходимость в поступлении сигналов  $I_a$  и  $I_{идм}$  непосредственно в ТРФСпМ. Кроме того создается возможность четкой дифференциации тонической активации в рамках местных периферических рефлекторных дуг (ПРД) через экстра- и интрамуральные ганглии (ЭМГ и ИМГ), спинальных рефлекторных дуг (СРД) с участием ТРФСпМ, а также генерализованной через ТРФПМ.

Поскольку ТРФ ответственна за трофику и регуляцию, ее афферентными сигналами должны быть: сигнал  $I_{эт}$ , осуществляющий трофическую функцию клеток, сигнал  $I_{эс}$ , направленный на регуляцию мышечного тонуса тонических мышечных волокон (ТМВ), сигнал  $I_{эр}$ , формирующий тонус рецепторов, адекватный внешнему и внутреннему возбуждениям, сигнал  $I_{эж}$ , создающий исходный тонус отдельных желез нейроэндокринной системы. Все эти сигналы генерируются РН и, естественно, имеют одну и ту же аутохтонную природу, а представленная выше дифференциация — условная. Но тем не менее дифференцированная симпатическая иннервация на указанные объекты существует и в каждом из этих случаев имеет свой биологический смысл. Кроме того, обе эти функции РФ должны непрерывно контролироваться и корректироваться путем изменения активирующего сигнала  $I_{эс}$  и управляющего сигнала того или иного контура. Это возможно только за счет рецепторов и прежде всего периферических. Поэтому в С—С следует ожидать наличие широкого спектра разных по своему функциональному значению и, как следствие, конструктивному оформлению видов периферических рецепторов.

Непосредственно по отношению к сердцу логично предположить наличие следующих видов рецепторов: механорецепторы предсердий (БРП) и желудочков (БРЖ), которые связаны с контурами регуляции, ответственными за организацию ритма сердца [1], интерорецепторы (ИРГ), контролирующие трофическую функцию сердца, с помощью которых осуществляется коррекция активирующей функции ТРФ, т. е. сигнала  $I_{эс}$ ; ИР типа нервно-мышечных веретен (ИРМ); контролирующие степень натяжения ТМВ миокарда; интерорецепторы того же типа (ИРС), но контролирующие степень вазоконстрикции ТМВ сосудов; болевые (ИРБ). Понятно, что при наличии такого спектра афферентных датчиков от сердца должна отходить

адекватная им гамма афферентных волокон, которые в основном формируются в афферентные пучки правого и левого депрессонных нервов и правого и левого спинномозговых афферентных нервов.

И, наконец, кратко рассмотрим схему межнейрональных взаимодействий на уровне РН, представление о которой крайне важно для оценки роли ТРФ в регуляции С—С и, в частности, ее изменения под влиянием сигналов  $I_a$  разной модальности и сигнала  $I_{идм}$ .

Принято считать [4], что внешняя афферентация стимулирует активирующую функцию РФ, а с другой стороны, имеются экспериментальные данные, указывающие на ее тормозящую функцию [5]. Видимо, эти противоречивые данные объясняются недостаточно четкими представлениями о межнейрональном взаимодействии на уровне РН. Если предположить, что связь между РН и сигналами, поступающими к ним, происходит через вставочные ретикулярные нейроны (ВРН), то можно допустить, что аутохтонная генерация сама по себе не испытывает существенного влияния со стороны указанных выше сигналов.

В то же время увеличение или уменьшение активирующего сигнала, получаемого на выходе ВРН, выполняющего роль интегрирующего звена, на котором сходятся сигналы от РН и  $I_a$  с  $I_{идм}$ , может быть усилено или заторможено именно на уровне ВРН, а не на уровне РН. Если еще учесть, что ВРН может одновременно выполнять и усилительную функцию, то при такой схеме взаимодействия, при относительно постоянном значении аутохтонной генерации РН существенно может изменяться активирующий сигнал РН на выходе ВРН, хотя при этом может создаться впечатление, что изменяется аутохтонная генерация РН. В действительности же аутохтонная генерация изменяется в соответствии со своими суточными и сезонными ритмами. Поэтому влияние сигнала  $I_{идм}$  на ТРФ происходит, видимо, через ВРН. В то же время сама аутохтонная генерация может изменяться под влиянием резких колебаний отдельных гормонов и в частности адреналина (А), которые в той или иной степени определяют аутохтонную генерацию РН.

**Роль ТРФ в регуляции сердца** проявляется через регуляцию пороговой чувствительности рецепторов  $S$ ; регуляцию тонуса мышечных волокон миокарда; регуляцию скорости кровотока; нейрогормональную регуляцию.

**1. Регуляция рецепторов.** Ранее 5 было показано, что ТРФ своим активирующим сигналом  $I_{эр}$  формирует динамическую пороговую чувствительность  $S$  фоторецепторов сетчатки глаза, адекватную световому возбуждению. Надо полагать, что рецепторы сердца и прежде всего БРП и БРЖ также находятся под активирующим влиянием ТРФ, т. е. сигнала. Поскольку механорецепторы сердца — это биологические датчики, регистрирующие механические напряжения миокарда, то для них, как

и для технических датчиков, должны быть справедливы ряд типовых характеристик, свойственных для датчиков, и среди них в первую очередь зависимость  $I_a = f(\Delta I)$ ;  $S = f(I_{эп})$ .

Предположим, что она имеет вид кривой, представленной на рис. 1, а, а ее участки I и II соответствуют динамической характеристике компактной группы рецепторов, а участок III — диффузной. При этом априорно можно предположить, что  $S_k$  компактных рецепторов выше, чем  $S_d$ , а для линейного участка имеет место  $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta I}$  и  $S = k/I_{эп}$ ,  $\Delta I_a = k/I_{эп} \Delta I$ .

Таким образом, приращение афферентного сигнала  $\Delta I_a$  при одном и том же растяжении мышечных волокон миокарда  $\Delta I$  будет тем больше, чем выше активирующая функция ТРФ в адрес БР сердца. Схематично изменение кривой в зависимости от сигнала  $I_{эп}$  можно представить кривые 1 и 2 (рис. 1, а) относительно среднего положения 0. При этом кривая 1 соответствует сигналу  $I_{эп1}$ , а кривая 2 — сигналу  $I_{эп2}$ , причем  $I_{эп1} > I_{эп2}$ . Понятно, что при увеличении  $I_{эп1}$  должна возрастать частота ритма сердца ( $f_p = 1$  рис. 1, а), а при уменьшении, наоборот, понижаться. Данное явление можно объяснить тем, что возникновение  $I_{ап}$  и  $I_{аж}$  происходит при меньших  $\Delta V$ , а значит, укорачивается время на накопление  $\Delta V$ . С другой стороны, повышение активирующей функции ТРФ, одновременно с которой возрастает и сигнал  $I_{эп}$ , как одно из частных проявлений генерализованной активации ТРФ, приводит к увеличению  $V_k$  и, как следствие, более быстрому заполнению камер предсердий, что также способствует учащению ритма сердца. Надо полагать, что аналогичная картина имеет место и для других видов рецепторов, связанных с ТРФ.

**2. Регуляция тонуса мышечных волокон миокарда предсердий и частично желудочков является вторым регулируемым параметром, с помощью которого ТРФ осуществляет свою регуляторную функцию на сердце.** Авторы допускают, что в миокарде имеется два вида мышечных волокон: ТМВ медленные фазические [6], иннервируемые ТРФ и связанные с СНС, и ФМВ, иннервируемые ФРФ и связанные с ПНС. Можно предположить, что в качестве морфологической основы наличия двух видов мышечных волокон может служить дифференциация и разная ориентация толстых миозиновых и тонких актиновых нитей в саркомере микрофибрилы миокарда, хотя существует и другая точка зрения о двойной иннервации гладкомышечной клетки. Роль активирующего сигнала  $I_{эс}$  ТРФ в адрес ТМВ сводится к организации их тонуса, в зависимости от величины которого устанавливается большая или меньшая степень их сокращения, т. е. длина ТМВ, а значит и размер камер сердца.

Графическая зависимость  $l_i = f(I_{эс})$  может быть представлена в виде кривой на рис. 1, б, а для ее восходящего колена  $l_i = l_0 \pm \pm \Delta l_i = k(I_{эс0} \mp \Delta I_{вс1})$ . За исходное значение  $l_0$  и  $I_{эс0}$  принимается

длина ТМВ и активирующего сигнала ТРФ в их адрес, соответствующие медленной фазе сна (МС) без сновидений. На рис. 1, а эти значения соответствуют участку I. Для участка II

$$l_i = k/I_{эсi} = k/(I_{эсо} \pm \Delta I_k \pm \Delta I_a \pm \Delta I_M).$$

Поэтому тонус ТМВ в фазе бодрствования в отличие от фазы МС становится значительно переменнее и, как следствие, резко возрастает динамичность режима работы сердца. При этом изменение  $I_{эсi}$  происходит в результате воздействия сигналов коры  $\Delta I_k$ , внешней и внутренней афферентации  $\Delta I_a$  на ТРФ, а также за счет ЯРЭП РФ ( $\Delta I_M$ ).

3. Регуляция скорости кровотока  $V_k$  является третьим регулируемым параметром, с помощью которого ТРФ изменяет режим работы сердца. Физиологический смысл регуляции  $V_k$  состоит в перераспределении частичного объема крови из венозной (депонирующей) системы в артериальную и, наоборот, за счет изменения степени вазоконстрикции сосудов, т. е. сигнала  $I_{эс}$ . При этом его увеличение приводит к повышению тонуса сосудов и, как следствие, к уменьшению их калибра, а понижение, наоборот, — к увеличению калибра сосудов, т. е. вазодилатации. В общем виде можно написать, что калибр сосуда:

$$d_{ci} = k \frac{1}{I_{эсi}} = k \frac{1}{I_{эсо} \pm \Delta I_{эсi}}.$$

Понятно, что изменение  $V_k$ , особенно в венозной системе, с ее высокой степенью чувствительности к колебаниям активирующей функции ТРФ и большим объемом депонирующей крови в сравнении с артериальной системой, приводит к перераспределению объемов крови из одной системы в другую и к изменению  $V_k$ . Эту зависимость можно представить в виде уравнения

$$V_k = k \frac{V_a \pm \Delta V_i}{V_b \mp \Delta V_i}.$$

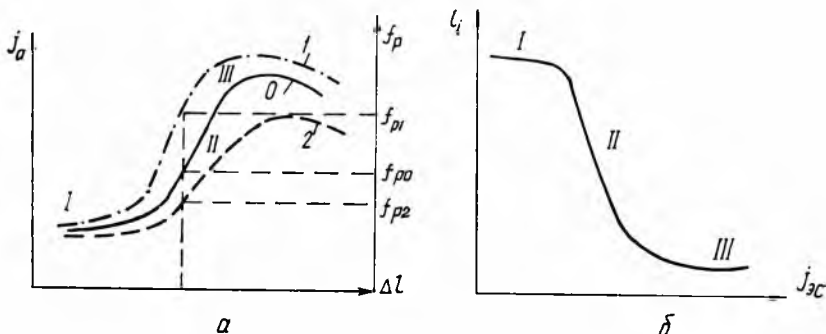


Рис. 1

откуда видно, что переход объема крови  $\Delta V_i$  из венозной в артериальную систему увеличивает  $V_k$ , а обратный процесс — уменьшает. В свою очередь  $V_k$  имеет непосредственное отношение к формированию сигналов  $I_{ат}$  и  $I_{аж}$  контуров регуляции

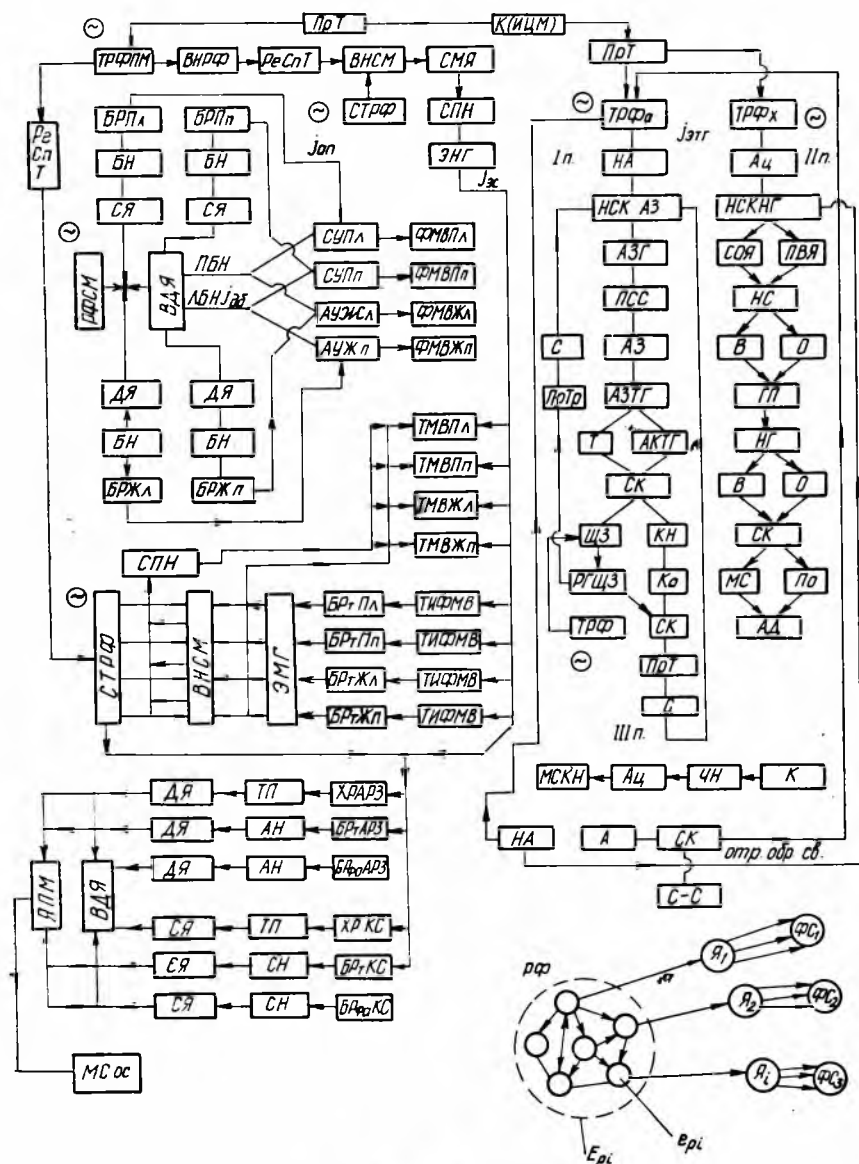


Рис. 2

I—IV. Можно предположить, что величина этих сигналов пропорциональна импульсу силы  $P$ , с которой воздействует масса крови  $m$  объемом  $\Delta V_{\text{в}}$  со скоростью  $V_{\text{к}}$  ее поступления в камеру. Ясно, что при увеличении в С—С величина  $P$  возрастет. Поэтому для отдельного участка  $\Pi$  кривой (рис. 1) можно написать:  $P = m V_{\text{к}} = d_{\text{к}} \Delta V_{\text{в}} V_{\text{к}}$ ;  $I_{\text{ап}} = k P_{\text{п}} S_{\text{п}}$  и  $I_{\text{аж}} = k P_{\text{ж}} S_{\text{ж}}$ .

**4. Гормональная регуляция сердца** также находится под контролем ТРФ и служит четвертым регулируемым параметром, с помощью которого она осуществляет свой контроль над работой сердца [7]. Учитывая исключительно сложную схему регуляции нейроэндокринной системы (НЭС), рассмотрим только ту ее часть, которая связана с РФ и имеет самое непосредственное отношение к регуляции С—С. Здесь имеет место два основных контура регуляции НЭС, один из которых ( $\Pi_{\text{п}}$ ) (рис. 2) прослеживается на участке: ТРФ — подбугорье ( $\Pi$ ) со своими мелкими нейросекреторными клетками (НСК АЗ), расположенными в медиобазальном  $\Pi$  и его задней части (МБП) и продуцирующими под влиянием сигнала  $I_{\text{тга}}$  аденогипофизарные гормоны (АЗГ), которые через капиллярную сеть портальной сосудистой системы (ПСС) поступают в паренхиму передней доли гипофиза (или, иначе, аденогипофизом АЗ). Оттуда в виде аденогипофизарных тропных гормонов (АЗТГ), в том числе тиротропина (Т) и кортикотропина АКТГ, имеющих непосредственное отношение к регуляции С—С, по системе кровообращения (СК) направляются соответственно к своим терминальным железам—щитовидной железе (ЩЗ) и коре надпочечников (КН). Последние под влиянием АЗТГ продуцируют рабочие гормоны ЩЗ (РГЩЗ) и кортикостероиды (Ко). В этом контуре имеется несколько обратных связей отрицательного и положительного вида, которые воздействуют на нейроны  $\Pi$  через НА и серотонин (С), в последнем случае, видимо, через промежуточную трансформацию (ПрТ).

Второй путь ( $\Pi_{\text{п}}$ ) также начинается с РН ТРФ<sub>х</sub>, только в отличие от первого адренергического он, возможно, характеризуется холинергической природой, а его управляющий сигнал  $I_{\text{тгх}}$  воздействует на нейросекреторные клетки (НСК НГ) супраоптического (СОЯ) и паравентрикулярного (ПВЯ) ядер. Нейросекреты этих ядер в виде вазопрессина (В) и окситоцина (О) по гипофизарным пучкам (ГП) поступают в заднюю долю гипофиза—нейрогипофиз (НГ), где они депонируются и частично в виде небольших дискретных порций непрерывно продуцируются в СК.

Мозговой слой коры надпочечников (МКСН) в отличие от предыдущих ЩЗ и КН, помимо гуморального влияния со стороны АЗ, находится под непосредственным нервнопроводниковым контролем со стороны ТРФ, а также коры (К), видимо, через чревной нерв (ЧН) (III путь). Продуцируемые МКСН гормоны в виде А и НА воздействуют через обратные положительные

связи на ТРФ (гормон А), вызывая повышение ее активирующей функции, и на нейроны П на МБП и отрицательной — на НСК НГ. Активный режим данного контура регуляции связан преимущественно с экстремальными ситуациями, когда под влиянием сигнала  $I_{\text{идм}}$  ТРФ усиливает сигнал  $I_{\text{эск}}$ , направленный на активацию МСКН, и в СК выбрасываются повышенные порции А и НА в сравнении с нормальными условиями, при которых катехоламины поступают в кровь в основном через гуморальную стимуляцию АЗ. Повышенная концентрация А в СК усиливает активирующую функцию РФ, а через нее создает форсированный режим работы практически всех ФС организма. При такой схеме взаимодействия А с РФ становится роль МСКН, необходимость его нервно-проводниковой иннервации. Надо полагать, что МСКН по аналогии с НГ также выполняет и депонирующую функцию по накоплению А и НА. Именно при наличии такой функции МСКН в состоянии обеспечить многократный форсированный выброс катехоламинов, которым управляет сигнал  $I_{\text{идм}}$ .

Возможно, что депонирующая функция МСКН в полной мере проявляется в период сна, особенно в его медленной фазе. Быструю же фазу сна можно рассматривать как одно из следствий спонтанных выбросов А в кровь, а само пробуждение организма — результат выделения МСКН повышенных порций катехоламинов в СК к утру вследствие их накопления за ночь. Возможно, что наше утомление и засыпание также являются следствием понижения концентрации катехоламинов и прежде всего А и их суточных колебаний. Кроме того, сам механизм быстрой фазы сна может быть связан с возбуждением РФ и коры сигналами афферентной импульсации с систем организма, функциональная активность которых требует пробуждения индивида.

Хотя роль РФ в регуляции С—С весьма существенная, тем не менее ее, видимо, нельзя считать определяющей. Скорее ее можно охарактеризовать для большинства контуров регуляции как коррекционную. Кратко проследим роль РФ в соответствии с рассмотренными ранее [1, 2] контурами регуляции сердца.

**Контур регуляции I—IV** (рис. 2), построенные в рамках МРД, отвечают за организацию ритма сердца. Здесь роль РФ проявляется, с одной стороны, в организации тонуса ФМВ миокардов со стороны ФРФ, а с другой — в регуляции пороговой чувствительности БРП и БРЖ через физические интрафузальные мышечные волокна (ФИМВ). Причем эта регуляция осуществляется, видимо, через общие аксоны нервных волокон, формирующих тонус в ФМВ миокарда.

**Контур регуляции V**, выполняющий коррекционную роль в регуляции контуров I—IV в виде обратной отрицательной связи, имеет те же самые связи с РФ, что и предыдущие контуры. Понятно, что число этих контуров должно быть четыре

(Va—Vr), а их организация построена в соответствии со структурой ЯБН и БН.

**Контур регуляции VI** связан непосредственно с ТРФ и ответственен одновременно за тонус ТМВ миокарда и их ИРМ,  $I_{\text{с}}$  которых регулируется через тонические интрафузальные мышечные волокна (ТИФМВ). Здесь, видимо, также аксоны тонических нервных волокон являются общими для ТМВ и ТИФМВ. Сама же регуляция  $S$  ИРМ осуществляется, вероятно, путем растяжения нервных окончаний ИМР за счет сокращения ИРМ ТИФМВ. Регуляция этого контура осуществляется сигналом  $I_{\text{с}}$  в зависимости от которого изменяется тонус ТМВ, а вместе с ним и размер камеры, в том числе величина остаточного объема крови в ней.

**Контур регуляции VII**, построенный в рамках МРД, а возможно и СРД, следит за регуляцией  $\Delta V_{\text{ост}}$  в камере сердца. Понятно, что таких контуров регуляции должно быть четыре (VII а—VII г), причем режим их регуляции определяется сигналом  $I_{\text{ат}}$ , который, в свою очередь, находится под контролем сигнала  $I_{\text{эс}}$  ТРФ ПМ.

**Контур регуляции VIII и IX** связаны с аортальной рефлексогенной зоной (АРЗ) и каротидными синусами (КС), баро- и хеморецепторы которых также находятся под контролем ТРФ и ФРФ. Аfferентные сигналы с этих контуров  $I_{\text{аб}}$  с БР и  $I_{\text{ак}}$  с их ХР по аfferентным синокаротидным и аортальному нервам поступают, видимо, на чувствительное дорсальное (ДЯ) и солитарное (СЯ) ядра, а оттуда на вентральное двигательное ядро (ВДЯ) правого и левого блуждающих нервов (ПБН и ЛБН). С ВДЯ сигнал  $I_{\text{эб}}$  по парасимпатическим волокнам приходит на эfferентные нейроны ИМГ сердца, где он интегрируется с аfferентными сигналами контуров I—IV.

**Контур регуляции X**, представленный в виде трех контуров (X а—X в), находится под непосредственным контролем ТРФ и ФРФ. Управляющее воздействие сигнала  $I_{\text{ицм}}$  осуществляется в первую очередь через регуляцию сигналов  $I_{\text{эс}}$ ;  $I_{\text{этг}}$ ;  $I_{\text{эб}}$  и адекватные им контуры регуляции. Разумеется, на рис. 2 приведены только основные контуры регуляции сердца, через которые проявляется роль РФ. Вопрос же о роли ТРФ в трофической функции требует отдельного рассмотрения.

**Роль РФ в регуляции сосудистой системы** является весьма существенной, так как тонус сосудов мышечного и немышечного типов (МС) полностью находится под контролем РФ. Здесь, видимо, также следует различать тоническую и фазическую формы регуляции тонуса сосудов со своими контурами регуляции. Наличие тонической и фазической иннерваций характерно, вероятно, для крупных сосудов с мышечным слоем. По мере же уменьшения калибра сосудов роль тонической иннервации становится преобладающей и надо полагать, что у артериол вплоть до прекапилляров имеет место тонический тип ин-

нервации, который выполняет двойную функцию: регуляторную и трофическую. Для них вазоконстрикция и вазодилатация осуществляется по одним и тем же нервным волокнам, а сам характер поведения мышечного слоя сосуда определяется интенсивностью (частотой) активирующего тонического сигнала  $I_{эс}$ , т. е. при повышенном сигнале—вазоконстрикция, пониженном—вазодилатация.

Учитывая богатое рецепторное представительство в сосудистой системе, можно предположить, что там размещено несколько видов рецепторов, разных по своему функциональному назначению. Среди них должны быть: интерорецепторы, контролирующие степень активности транскapиллярной функции (ИРТ), ИР в виде нервно-мышечных веретен (ИТМ), контролирующие степень вазоконстрикции сосудов, т. е. активирующую функцию ТРФ, и др. Возможно, что на уровне МС обе эти функции контролируются одним видом ИР в виде поливалентных нервных окончаний. Афферентные сигналы с этих рецепторов  $I_{ат}$  и  $I_{ам}$  замыкаются на уровне ЭМГ и ИМГ и, очевидно, в рамках СРД с одновременной афферентной сигнализацией —  $I_{аэмг}$  с рецепторов ЭМГ в адрес ТРФ ПМ. Конечно, детальный анализ регуляции сосудистой системы дело будущего. Но сегодня можно признать, что ее регуляция построена по многоуровнему принципу, в виде отдельных региональных бассейнов, связанных со своими участками РФ, и адекватными им группами ядер, расположенными как на спинальном уровне, так и в стволовой части мозга. Причем между ними сохраняется та же самая иерархия, что и при регуляции сердца. Но вместе с тем все эти бассейны за счет наличия ЯРЭП РФ связаны между собой. Особенно это наглядно проявляется при мобилизации и стрессовых ситуациях, когда генерализованная форма активации РФ одновременно распространяется на артериальную и венозную системы. Более того, мофологическая основа ЯРЭП РФ заложена не только в форме ее сетевидной организации, ЯРЭП РФ эволюционно сформировало и саму структуру исполнительных элементов, обеспечивающих его реализацию. Особо наглядно это проявляется на примере мозгового кровообращения в виде виллизиева круга. Именно с помощью последнего РФ осуществляет преимущественное перераспределение мозгового кровотока на ту или иную структуру мозга, выполняющую на данный момент наибольшую функциональную нагрузку. Понятно, что рассмотренные выше факторы, влияющие на режим работы сердца, адекватным образом проявляются и на сосудистой системе.

**Список литературы:** 1. Ананин В. Ф. Модель механизма регуляции сердечно-сосудистой системы человека. *Сообщение 1.* О механизме регуляции сердца.— Проблемы бионики, 1981, вып. 27, с. 93—103. 2. Ананин В. Ф. О механизме регуляции микроциркуляторной системы кровообращения. *Сообщение 2.* — Проблемы бионики, 1983, вып. 30, с. 86—96. 3. Поляков Г. И. — В кн.:

Жукова Г. П. Нейронное строение и межнейронные связи мозгового ствола и спинного мозга. — М.: Медицина, 1977.—143 с. 4. Росси Д. Ф., Панкетти А. Ретикулярная формация ствола мозга. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960. — 263 с. 5. Ананин В. Ф. Сетчатка глаза человека как биологическая система автоматического регулирования.—Проблемы бионики, 1980, вып. 24, с. 61—70. 6. Наследов Г. А. Тоническая мышечная система позвоночных. — Л.: Наука, 1981.—186 с. 7. Алешин Б. В. Эндокринная система и гомеостаз. — В кн.: Гомеостаз/Под ред. П. Д. Горизонтова. — М.: Медицина, 1981, с. 74—113.

Поступила в редколлегию 30.06.82.

УДК 62.506.2

А. В. КОРОЛЕВ, П. Д. КУЛИК

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА

Из всего многообразия оборудования в системе «человек—машина» наиболее ответственными и сложными являются средства отображения информации (СОИ). Учитывая то, что человек с помощью зрительного анализатора воспринимает около 90% всей информации [1], учет особенностей зрительного анализатора при проектировании СОИ является обязательным. Однако покамест еще слабо разработаны простые методы расчета параметров СОИ с учетом этих особенностей зрения человека, поэтому в настоящей статье ставится задача разработать простой метод расчета параметров СОИ с учетом возможностей зрения человека и требующий малых затрат труда при его использовании.

Одним из наиболее важных параметров СОИ является размер символа, который зависит от расстояния между наблюдателем и изображением, а также от сложности символов

$$h = 2R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (1)$$

где  $h$  — размер наблюдаемого символа по высоте;  $R$  — расстояние между плоскостями отображения символа и зрения;  $\alpha$  — угловой размер символа.

В [2] установлены оптимальные условия восприятия и опознания символов различной сложности. Для простых символов  $\alpha$  равно 15—18', для средних—21—26', для сложных—35—40'. Зная  $R$  и  $\alpha$ , можно определить количество знакомств, укладываемых по высоте или ширине экрана заданных размеров:

$$K_1 = \left[ \frac{H_0}{2p_1 R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right]; \quad (2)$$

$$K_2 = \left[ \frac{Ш_0}{2p_2 R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right]. \quad (3)$$

Здесь  $K_i$  — количество информационных строк;  $K_j$  — количество знакомест в информационной строке;  $p_1 = 1 + b$  — коэффициент высоты знакоместа;  $p_2 = r + l$  — коэффициент ширины знакоместа;  $r, b, l$  — безразмерные коэффициенты, определяющие ширину символа и расстояние между символами по вертикали и горизонтали относительно его высоты;  $H_3, Ш_3$  — размеры экрана соответственно по высоте и ширине.

Поскольку  $K_i$  и  $K_j$  являются переменными одного аргумента, то для их расчета можно воспользоваться одной номограммой из равноудаленных точек [3].

Для представления (2) и (3) в виде  $f_{12} = f_{34} + f_{35}$  (4) прологифмируем их. При этом

$$f_{12} = \lg 2R + \lg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad f_{34} = -\lg p_1 - \lg K_i; \quad f_{35} = \lg H_3, \quad (5)$$

$$\alpha_1 = \lg 2R; \quad \alpha_2 = \lg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad \alpha_3 = \lg p_1; \quad (6)$$

$$\alpha_4 = \lg K_i; \quad \alpha_5 = \lg H_3.$$

С учетом оптимальных угловых размеров символов и возможности использования номограммы для расчета широкого класса СОИ переменные в выражениях (5) и (6) имеют следующие пределы изменения:  $100 \leq R \leq 3000$  мм;  $10 \leq K_i \leq 500$ ;  $10' \leq \alpha \leq 60'$ ;  $100 \leq H_3 \leq 3000$  мм;  $0,5 \leq p_1 \leq 2$ .

В общем виде уравнения элементов номограммы из равноудаленных точек имеют вид [3]:

$$\text{поле центров } (\alpha_1, \alpha_2): \quad x = d_0 + m f_{12}; \quad y = T_{12},$$

$$\text{поле засечек } (\alpha_3, \alpha_4): \quad x = d_0 - d + 2m (f_{34} + R_3); \quad y = T_3 \quad (7),$$

поле засечек  $(\alpha_3, \alpha_5): \quad x = d_0 + d + 2m (f_{35} - R_3); \quad y = T_3$ , где  $d_0, d, m$  — произвольные параметры;  $R_3, T_{12}, T_3$  — произвольные функции.

При расчете произвольных параметров и произвольных функций исходим из условия расположения всех элементов номограммы в пределах чертежа и более полного использования его площади, а также наиболее равномерного изменения переменных. Получаем  $d_0 = 142$  мм;  $d = -30$  мм;  $m = 25$  мм;  $R_3 = 0,5 \alpha_3$ ;  $T_3 = 40 + 100 \alpha_3$ ;  $T_{12} = 25 (\alpha_1 - \alpha_2)$ .

Окончательно уравнения элементов номограммы имеют вид: поле центров  $(R, \alpha)$ :

$$\left. \begin{aligned} x &= 142 + 25 \left( \lg 2R + \lg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right); & y &= 25 \left( \lg 2R - \lg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right), \\ \text{поле засечек } (p_1, K_i): & x &= 192 - 50 (\lg K_i + 0,5 \lg p_1); \\ & y &= 40 + 100 \lg p_1; \\ \text{поле засечек } (p_1, H_3): & x &= 92 + 50 (\lg H_3 - 0,5 \lg p_1); \\ & y &= 40 + 100 \lg p_1. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Расчет полей выполнен на ЭВМ. Полученная номограмма для расчета количества информационных строк на экране индикатора и количества знакомест в информационной строке приведена на рис. 1. Порядок пользования номограммой следующий:

1) в поле центров ( $R$ ,  $\alpha$ ) отмечается точка с нужными значениями  $R$  и  $\alpha$ , а в поле засечек ( $p_1$ ,  $K_i$ ) отмечается точка

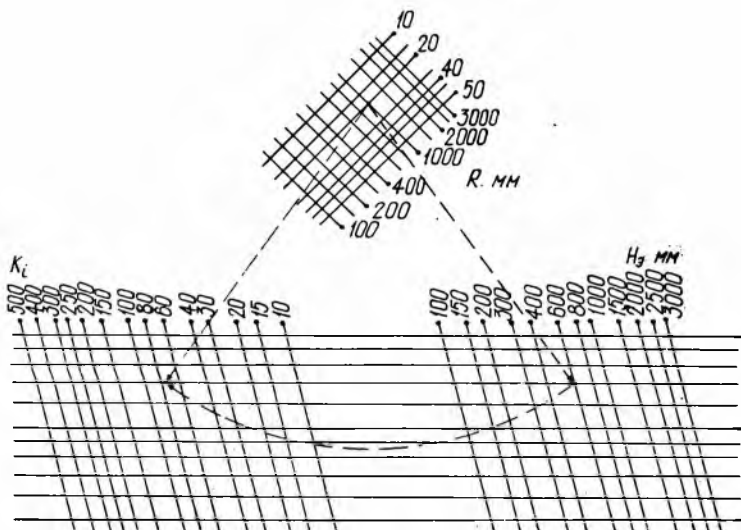


Рис. 1

с нужными значениями высоты  $H_3$  (ширины  $Ш_3$ ) экрана СОВ и коэффициента  $p_1$ , 2;

2) циркулем относительно точки в поле центров проводится дуга через точку в поле засечек ( $p_1$ ,  $H_3$ ) и в поле засечек ( $p_1$ ,  $K_i$ ) на линии  $p_1$  с тем же значением, что и в поле засечек ( $p_1$ ,  $H_3$ ), делается засечка, пересечение которой с линией  $K_i$  дает результат.

Количество знакомест  $M$  на экране индикатора равно  $M = K_i \times K_j$  (9).

Поскольку зачастую на экране индикатора отображается информация не на всей площади, то количество отображаемых символов  $N$  будет характеризоваться степенью заполнения экрана  $\beta$ :  $N = \beta M$  (9).

Энтропия сообщения, определяющая нагрузку на оператора, т. е. количество информации, отображаемой в среднем за каждую из возможных комбинаций входного сигнала, равна [4]

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i), \quad (11)$$

где  $n = Mq$  — информационный массив устройства отображения;  $q$  — количество символов в алфавите устройства отображения информации.

Максимальное значение энтропии соответствует равновероятности кодовых комбинаций, поэтому (11) примет вид  $H(x)_{\max} = \log_2(N \cdot q)$  (12).

Для обеспечения необходимой частоты регенерации изображения  $f_0$ , ограничиваемой критической частотой слияния мерцания, знакогенератор должен обладать достаточным быстродействием:

$$t_3 = \frac{1}{f_p \cdot M}, \quad (13)$$

где  $t_3$  — время формирования символа.

Для расчета параметров СОИ, описываемых уравнениями (9) — (13), можно построить номограмму из выравненных точек с параллельными шкалами [3], так как каждое уравнение является функцией двух переменных, а в состав каждой последующей функции входит одна из предыдущих. Каноническое уравнение такой номограммы  $f_1 + f_2 = f_3$  (14), а уравнения элементов номограммы следующие:

$$\left. \begin{aligned} \text{шкала } a_1: x = 0; y = m_1(f_1 - d_1); \\ \text{шкала } a_2: x = H; y = m_2(f_2 - d_2); \\ \text{шкала } a_3: x = \frac{m_1 H}{m_1 + m_2}; y = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}(f_3 + d_1 - d_2). \end{aligned} \right\} (15)$$

Для приведения (9) — (13) к виду (14) производим их логарифмирование по основанию 2. Принимаем обозначения:

$$\begin{aligned} f_1 = \log_2 K_i; \quad f_2 = \log_2 K_j; \quad f_3 = \log_2 M; \quad f_4 = \log_2 \beta; \quad f_5 = \log_2 N; \\ f_6 = \log_2 q; \quad f_7 = H(x)_{\max}; \quad f_8 = \log_2 f_p; \quad f_9 = -\log_2 t_3. \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{Отсюда: } f_1 + f_2 = f_3; \quad f_3 + f_4 = f_5; \quad f_5 + f_6 = f_7; \quad f_7 + f_8 = f_9. \quad (17)$$

Пределы изменения переменных в (16) выбираем с учетом пределов изменения переменных в (6), а также использования номограммы при расчете параметров СОИ широкого класса применения:

$$\begin{aligned} 10 \leq K_i \leq 500; \quad 20 \leq g \leq 250; \\ 10 \leq K_j \leq 500; \quad 10 \leq H(x)_{\max} \leq 25; \\ 100 \leq M \leq 250\,000; \quad 20 \leq f_p \leq 60 \text{ Гц}; \\ 30 \leq N \leq 250\,000; \quad 0,1 \times 10^{-6} \leq t_3 \leq 0,5 \times 10^{-3} \text{ с}; \\ 0,3 \leq \beta \leq 1. \end{aligned}$$

С учетом (17) уравнения девяти шкал номограммы могут быть получены из (15) путем последовательной подстановки в последнее значений функций из (16). Значения модулей  $m_i$  и параметров  $d_i$  в уравнениях независимых шкал номограммы могут быть получены из соотношений:

$$m_i = \frac{l_i}{f_{i \max} - f_{i \min}}; \quad d_i = f_{i \min}, \quad (18)$$

где  $l_i$  — длина шкалы  $i$ -го аргумента;  $f_{i \max}$ ,  $f_{i \min}$  — соответственно максимальное и минимальное значение функции этой шкалы.

Значения модулей  $m_i$  и параметров  $d_i$  в уравнениях зависимых шкал могут быть получены аналогично этим значениям для  $y$  шкалы  $a_3$  в уравнении (15).

Из расчета максимального использования размеров чертежа длины шкал принимаем равными 200 мм, а  $H_1=80$  мм,  $H_2=110$  мм,  $H_3=98$  мм,  $H_4=84$  мм. После вычисления модулей и параметров уравнений всех шкал последние примут следующий вид:

шкала  $K_i$ :  $x = 0$ ;  $y = 35,4 (\log_2 K_i - 3,32)$ ;

шкала  $K_j$ :  $x = 80$ ;  $y = 35,4 (\log_2 K_j - 3,32)$ ;

шкала  $M$ :  $x = 40$ ;  $y = 17,7 (\log_2 M - 6,64)$ ;

шкала  $\beta$ :  $x = 138$ ;  $y = 110 (\log_2 \beta + 1,74)$ ;

шкала  $N$ :  $x = 53,6$ ;  $y = 15,24 (\log_2 N - 4,9)$ ;

шкала  $q$ :  $x = 138$ ;  $y = 54,79 (\log_2 q - 4,32)$ ;

шкала  $H(x)_{\max}$ :  $x = 7/9$ ;  $y = 11,92 [H(x)_{\max} - 9,22]$ ;

шкала  $f_p$ :  $x = 150$ ;  $y = 125,79 (\log_2 f_0 - 4,32)$ ;

шкала  $t_3$ :  $x = 53,6$ ;  $y = 15,5 (-\log_2 t_3 - 10,96)$ .

Расчет шкал номограммы выполнен на ЭВМ. При этом учитывалось, что почти все шкалы логарифмические, поэтому шаг вычислений является переменным.

На рис. 2 приведена номограмма для определения основных параметров СОИ. Порядок пользования номограммой следующий: 1) на осях  $K_i$  и  $K_j$  соответственно откладываются значения количества информационных строк на экране и количества знакомест в информационной строке; 2) к этим точкам прикладывается линейка и на оси  $M$  читаем результат — количество знакомест на экране индикатора; 3) на оси  $\beta$  откладываем значение коэффициента заполнения экрана, а прикладывая линейку к предыдущему результату и к отмеченной точке на оси  $\beta$ , на оси  $N$  получаем количество отображаемых символов на

экране СОИ; 4) на оси  $q$  откладываем количество символов в алфавите СОИ и прикладываем линейку к этой точке и к результату на оси  $N$ , при этом на оси  $H(x)_{\max}$  получим значение энтропии при равновероятном появлении всех символов на всех знаках: 5) значение критической частоты слияния мерцания, зависящей от яркости и угловых размеров символов, от-

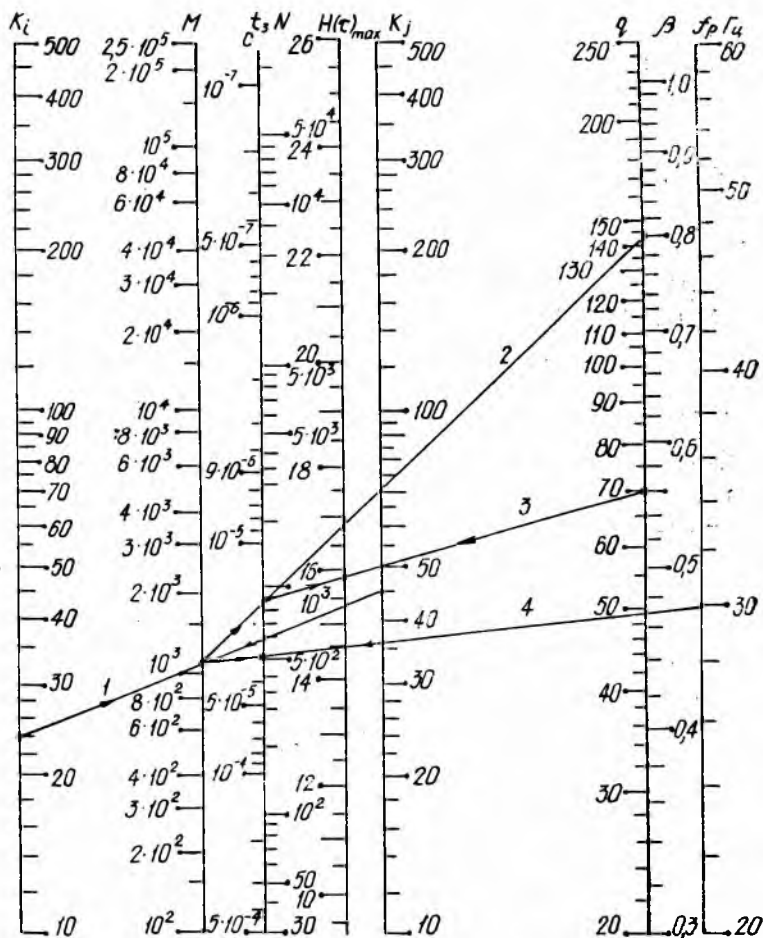


Рис. 2

кладывается на оси  $f_p$ , а линейка прикладывается к этой точке и к точке на оси  $M$ , при этом на оси  $t_3$  получаем значение максимального времени формирования одного символа знакогенератором.

Таким образом, учет возможности зрительного анализатора при проектировании средств отображения информации позволя-

ет повысить эффективность взаимодействия человека с ЭВМ. Полученные аналитические выражения и построенные по ним номограммы позволяют упорядочить и упростить расчеты основных параметров СОИ.

**Список литературы:** 1. Ломов Б. Ф. Человек и техника. — М.: Сов. радио, 1966. — 464 с. 2. Справочник по инженерной психологии/Под ред. Б. Ф. Ломова. — М.: Машиностроение, 1982. — 368 с. 3. Хованский Г. С. Номография и ее возможности. — М.: Наука, 1977. — 128 с. 4. Костюк В. И., Ходаков В. Е. Системы отображения информации и инженерная психология. — К.: Техніка, 1977. — 192 с.

*Поступила в редколлегию 17.11.83.*

УДК 519.6 : 681.5 : 66 : 012—52

*В. И. САЕНКО*

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОМЕРНЫХ СПЛАЙН-ФУНКЦИЙ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ**

Для идентификации квазистационарных непрерывных стохастических объектов широко используют полиномиальную регрессию. Однако повышение адекватности такой модели связано с повышением степени полинома, а значит, с усложнением реализации управления.

Мы предлагаем использовать кусочно-многочленные функции вместо полиномов, позволяющие повышать степень адекватности модели без усложнения структуры модели на отдельных сегментах. В качестве таких функций хорошо зарекомендовали себя сплайн-функции [1, 2].

Аппарат сплайн-функций изучен в вычислительной математике достаточно хорошо. Однако большинство публикаций посвящено одномерным и двумерным функциям. Для построения моделей реальных технологических процессов интерес представляют многомерные модели.

Будем рассматривать многомерные сплайны первой степени на регулярной сетке в  $C[a, b] \times [c, d] \times \dots \times [q, l]$ . Регулярной является сетка, образующая в  $\mu$ -мерном пространстве  $\mu$ -мерные параллелепипеды. Вершины в каждом параллелепипеде называются узлами. Образование параллелепипедов обусловлено разбиением пространства  $\Omega$  по каждой переменной  $x_i$  на сетке  $\Delta_{x_i}$ , т. е.  $\Omega = \Delta_{x_1} \times \Delta_{x_2} \times \dots \times \Delta_{x_\mu}$  — декартово произведение.

Согласно [2], если  $S(x_i)$  есть сплайн одной переменной и  $\Delta x_i: x_{i0} < x_{i1} < \dots < x_{iN_i}$  сетка по  $x_i$ , то для  $\vec{S}(x)$  справедливо  $\vec{S}(x) = S(x_1) \otimes S(x_2) \otimes \dots \otimes S(x_\mu)$  (1), где  $\mu$  — размерность пространства;  $\otimes$  — знак тензорного произведения.

В случае сплайна первой степени для (1) на любом из  $\Omega_{ij\dots l} = [x_{1i}, x_{1, i+1}] \times [x_{2j}, x_{2, j+1}] \dots$  однозначно определена функция

$$S(x) = b_0 + \sum_{i=1}^{\mu} b_i x_i + \sum_{j=1}^{\mu-1} \sum_{\substack{i=2 \\ i < j}}^{\mu} b_{ij} x_i x_j + \dots + \underbrace{\sum_i^{\mu+1-p} \sum_j^{\mu+2-p} \dots \sum_l^{\mu}}_{i < j < \dots < l} \times b_{ij\dots l} x_i x_j x_l. \quad (2)$$

Для анализа поверхности, описываемой сплайном, недостаточно знать значения этой функции в каждой точке пространства. Необходимо определять все коэффициенты (2). Это представление более удобно при изучении свойств объекта.

Формулы определения коэффициентов  $\bar{B}$  из (2) для любой заданной размерности  $\mu$  можно вывести, рассматривая представления сплайна от одной, двух, трех  $\mu$ -переменных.

В общей формуле должны быть представлены записи членов  $b_0, b_1, b_{1\dots\mu}$ , на области  $\Omega_{i,j\dots l}$ .

Опираясь на результаты [1, 2] для одномерных и двумерных сплайнов, можно записать:

а) для одномерного случая:

$$S = b_0 + b_1 x_1, \quad b_0 = 1/h_{1i} (x_{i+1} - f_i - x_{1i} f_{i+1}), \quad b_1 = 1/h_{1i} (f_{i+1} - f_i) = (-1)/h_{1i} (f_i - f_{i+1}), \quad \text{где } f_i - \text{значение функции в узле } x;$$

б) для двумерного случая:

$$S = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2, \quad b_0 = 1/h_{2j} h_{1i} (x_{1, i+1} x_{2, j+1} f_{ij} - x_{1i} x_{2j+1} f_{i+1, j} - x_{1, i+1} x_{2j} f_{ij+1} + x_{1i} x_{2j} f_{i+1, j+1}), \quad b_1 = (-1)/h_{1i} h_{2j} \times (x_{2j+1} f_{ij} - x_{2j+1} f_{i+1, j} - x_{2j} f_{ij+1} + x_{2j} f_{i+1, j+1}), \quad b_2 = (-1)/h_{1i} h_{2j} \times (x_{1, i+1} f_{ij} - x_{1, i+1} f_{ij+1} - x_{1i} f_{i+1, j} + x_{1i} f_{i+1, j+1}), \quad b_{12} = (-1)^2/h_{1i} h_{1j} (f_{ij} - f_{i+1, j} - f_{i, j+1} + f_{i+1, j+1}).$$

Рассматривая аналогично случаи для трех и четырех переменных (которые из-за громоздкости опущены), можно обобщить формулы для размерности, равной  $\mu$ .

Введем ряд обозначений. Ввиду того, что формулы рассматриваются на области  $\Omega_{i, j\dots l}$ , индексы принимают только два значения  $p$  и  $p+1$ . Элемент  $f$  имеет для размерности  $\mu$  ровно  $\mu$  индексов  $i, j\dots l$ . Если индекс равен  $p$ , будем его опускать, а если индекс равен  $p+1$ , для элемента  $f$  пишем новый индекс места  $p$ , т. е. для  $f_{ij+1k\dots l} = f_{(2)}$ . У членов вида  $[x_{1i} x_{2j} \dots x_{\mu l}]$ , на-

оборот, индекс опущен, если он равен  $p+1$ , и пишем новый, соответствующий номеру фактора, если индекс равен  $p$ . т. е.

$$[x_{1l} x_{2j} x_{3k+1} x_{4s+1} \dots x_{\mu l+1}] = [x_1 x_2 x_3 \dots x_\mu]_{(1,2)} \quad (3)$$

Тогда

$$x_{1l} x_{2j+1} x_{3k} x_{4s+1} x_{5p} \dots x_{\mu l} f_{l+1, j, k+1, s, p+1, \dots, \mu+1} = ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{(1,3,5,6, \dots, \mu)} \quad (4)$$

Для элементов аналогичных (4) при условии, что  $x_m = x_n = x_l = 1$  введем верхний индекс:

$$x_{2j+1} x_{3k} x_{5p} \dots x_{\mu l} f_{l+1, j, k+1, s, p+1, \dots, \mu+1} = ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{(1,3,5,6, \dots, \mu)}^{(1,4)}$$

С учетом принятых обозначений формула для  $b_0$  запишется так:

$$b_0 = (-1)^0 / h_{1l} h_{2j} h_{3k} \dots h_{\mu l} ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{(0)} + \sum_{l_1=1}^{\mu} (-1) ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{(l_1)} + \dots + \sum_{l_1=1}^{\mu-1} \sum_{l_2=2}^{\mu} (-1)^2 ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{(l_2)} + \dots + \sum_{l_1=1}^{\mu+1-p} \sum_{l_2=1}^{\mu+2-p} \dots + \dots + \sum_{l_p=p}^{\mu} (-1)^p ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{(l_1 l_2 \dots l_p)} + \dots + (-1)^\mu ([x_1 x_2 \dots x_\mu] \times f)_{(l_1 l_2 \dots l_\mu)} = (-1)^0 / H X_0^T A F,$$

где  $A$  — диагональная матрица  $r \times r$  ( $r=2^\mu$  с элементами  $(\pm 1)$ );  $X$  — вектор размерности  $r$  с элементами  $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_\mu]$ ;  $F$  — вектор размерности  $r$  с элементами  $f_{l_1, \dots, l_r}$ .

Для  $b_{\tau, \tau=1, \mu}$  формула запишется в виде

$$b_\tau = (-1)^1 / h_{1l} h_{2j} \dots h_{\mu l} ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_0 + \sum_{l_1=1}^{\mu} (-1) ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{l_1} + \dots + \sum_{l_1=1}^{\mu-1} \sum_{l_2=2}^{\mu} (-1)^2 ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{l_2} + \dots + (-1)^\mu ([x_1 x_2 \dots x_\mu] f)_{(l_1 l_2 \dots l_\mu)} = (-1) (b_0)^\tau = (-1) / H X_\tau^T A F.$$

Аналогично можно записать формулы для  $b_{\tau\omega, \dots}$ ,

$$b_{\tau\omega, \dots, \mu} : \quad b_{\tau\omega} = (-1)^2 / H X_{\tau\omega}^T A F, \quad (7)$$

$$b_{\tau\omega\nu} = (-1)^3 / H X_{\tau\omega\nu}^T A F \quad (8)$$

.....

$$b_{\tau\omega, \mu} = (-1)^\mu / H A F. \quad (9)$$

Как видно из (6) — (9), матрица  $X_{\gamma\omega\nu\dots\eta}^T$  получается из матрицы  $X_0^T$  путем замены в каждом элементе  $[x_1 x_2 x_3 \dots x_\mu]$ ,  $x_\gamma = x_\omega = x_\nu = \dots = 1$ . Таким образом, численный алгоритм построения сплайна первой степени в форме (2) по регулярной сетке сводится к следующему: задаемся размерностью  $\mu$ ; выбираем подобласть  $\Omega_{ijk\dots l}$ ; формируем вектор  $F$  размерностью  $r$  с элементами согласно (5); формируем диагональную матрицу  $A[r \times r]$  с элементами  $(-1)^{l_i}$  согласно (5); формируем вектор  $X_0^T$  с элементами  $[x_1, x_2, x_3 \dots x_\mu]$  согласно (5); вычисляем по формуле (5) коэффициент  $b_0$ ; формируем вектор  $X_1^T$  путем замены в каждом элементе вектора  $X_0^T$   $x_1 = 1$ ; вычисляем по формуле (6)  $b_1$ ; аналогично  $b_1$  производим для  $b_i$ ,  $i = 2, \mu$ ; формируем вектор  $X_{12}^T$  путем замены в векторе  $X_0^T$   $x_1 = x_2 = 1$ ; вычисляем по формуле (7)  $b_{12}$ ; аналогично  $b_{1,2}$  делаем для  $b_{ij}$ ,  $i < j$ ,  $i = 1, \mu - 1$ ,  $j = 2, \mu$ ; аналогично  $b_{ij}$  делаем для  $b_{ijk}$ ; вычисляем  $b_{\gamma\omega\dots\mu}$  по формуле (9).

Выделим два случая, когда преимущество применения сплайна первой степени очевидно. Первый, если решается задача описания объекта моделью в широком диапазоне изменения значений факторов, когда информация об объекте поступает последовательно и ограничений на количество экспериментов нет. Здесь удобно реализовывать последовательное расширение области экспериментирования с регулируемым шагом дискретности разбиения сетки, достраивая  $\mu$ -мерный параллелепипед в различных направлениях другими  $\mu$ -мерными параллелепипедами.

Второй случай, если необходимо построить модель управления при условии, что управление производится в пределах  $\mu$ -мерного параллелепипеда и структура модели в нем может быть адекватна представлена полиномом не выше второй степени.

Отметим, что большинство публикуемых работ ориентировано на использование сплайнов на сетках с количеством узлов  $> 10$ . При решении задачи идентификации, наоборот, необходимо стремиться к уменьшению количества узлов из-за сложности интерпретируемости модели, так как для построения сплайна используется полный перебор всех сочетаний узлов, т. е. при равномерном разбиении по каждой из переменных проводится  $N^\mu$  опытов. При неравномерном разбиении —  $N_1 \times N_2 \times \dots \times N_\mu$  опытов.

Рассмотрим численные примеры для сплайнов (2) от трех переменных при количестве узлов по каждому фактору, равному двум и трем.

А. Дана сетка  $\Omega = \Delta x_1 \times \Delta x_2 \times \Delta x_3$ ,  $\Delta x_i = [-1, 1]$ . Это наиболее часто используемое в вычислительной математике пространство  $S[-1, 1] \times [-1, 1] \times [-1, 1]$ . Для вывода формул используем табл. 1, где элементы  $c_i$  есть  $1/NAF$  и значение  $b_i$  полу-

	$f_{ijk}$	$f_{i+1/k}$	$f_{i/j+k}$	$f_{ijk+1}$
$b_0$	$x_{1l+1}x_{2j+1}x_{3k+1}$	$x_{1l}x_{2j+1}x_{3k+1}$	$x_{1l+1}x_{2j}x_{3k+1}$	$x_{1l+1}x_{2j+1}x_{3k}$
$-b_1$	$x_{2j+1}x_{3k+1}$	$x_{2j+1}x_{3k+1}$	$x_{2j}x_{3k+1}$	$x_{2j+1}x_{3k}$
$-b_2$	$x_{1l+1}x_{3k+1}$	$x_{1l}x_{3k+1}$	$x_{1l+1}x_{3k+1}$	$x_{1l+1}x_{3k}$
$-b_3$	$x_{1l+1}x_{2j+1}$	$x_{1l}x_{2j+1}$	$x_{1l+1}x_{2j}$	$x_{1l+1}x_{2j+1}$
$b_{12}$	$x_{3k+1}$	$x_{3k+1}$	$x_{3k+1}$	$x_{3k}$
$b_{13}$	$x_{2j+1}$	$x_{2j+1}$	$x_{2j}$	$x_{2j+1}$
$b_{21}$	$x_{1l+1}$	$x_{1l}$	$x_{1l+1}$	$x_{1l+1}$
$-b_{123}$	1	1	1	1

чается путем умножения  $c_i$  на элемент  $x_i x_j \dots x_\mu$  на пересечении строки и столбца. Все элементы в таблице равны  $\pm 1$  (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты сплайна	Элементы матрицы $(1/H DF)$							
	$c_1$	$-c_2$	$-c_3$	$-c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$-c_8$
$b_0$	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
$-b_1$	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
$-b_2$	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
$-b_3$	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
$b_{12}$	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
$b_{13}$	1	1	-1	1	-1		-1	-1
$b_{21}$	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
$-b_{123}$	1	1	1	1	1	1	1	1

Учитывая, что они образуют полный перебор по отношению к факторам, т. е.  $2^3$  опытов, налицо широко известная матрица ПФЭ. Коэффициенты  $\bar{B}$  находятся аналогично применению МНК для ПФЭ. Таким образом, ПФЭ есть частный случай сплайна первой степени на регулярной сетке.

Таблица 1

$f_{l+1/j+1k}$	$f_{l+1/jk+1}$	$f_{lj+1k+1}$	$f_{l+1/j+1k+1}$
$x_{1l}x_{2j}x_{3k+1}$	$x_{1l}x_{2l+1}x_{3k}$	$x_{1l+1}x_{2j}x_{3k}$	$x_{1l}x_{2j}x_{3k}$
$x_{2j}x_{3k+1}$	$x_{1l+1}x_{3k}$	$x_{2j}x_{3k}$	$x_{2j}x_{3k}$
$x_{1l}x_{3k+1}$	$x_{1l}x_{3k}$	$x_{1l+1}x_{3k}$	$x_{1l}x_{3k}$
$x_{1l}x_{2j}$	$x_{1l}x_{2j+1}$	$x_{1l+1}x_{2j}$	$x_{1l}x_{2j}$
$x_{3k+1}$	$x_{3k}$	$x_{3k}$	$x_{3k}$
$x_{2j}$	$x_{2j+1}$	$x_{2j}$	$x_{2j}$
$x_{1l}$	$x_{1l}$	$x_{1l+1}$	$x_{1l}$
1	1	1	1

Б. Дана сетка  $\Omega = \Delta x_1 \times \Delta x_2 \times \Delta x_3$ ,  $\Delta x_1 = [-1, 0, 1]$ ,  $\Delta x_2 = [-1, 0, 1]$ ,  $\Delta x_3 = [-1, 0, 1]$ . Сплайн рассматриваем на восьми параллелепипедах:  $\Omega_{111} = [-1, 0] \times [-1, 0] \times [-1, 0]$ ,  $\Omega_{112} = [-1, 0] \times [-1, 0] \times [0, 1]$ ,  $\Omega_{121} = [-1, 0] \times [0, 1] \times [-1, 0]$ ,  $\Omega_{122} = [-1, 0] \times [0, 1] \times [0, 1]$ ,  $\Omega_{211} = [0, 1] \times [-1, 0] \times [-1, 0]$ ,  $\Omega_{212} = [0, 1] \times [-1, 0] \times [0, 1]$ ,  $\Omega_{221} = [0, 1] \times [0, 1] \times [-1, 0]$ ,  $\Omega_{222} = [0, 1] \times [0, 1] \times [0, 1]$ .

Коэффициент  $b_0^{ijk}$  равен значению функции в узле  $(x_1, x_2, x_3) = (\pm 1, \pm 1, \pm 1)$  для каждой из  $\Omega_{ijk}$  это значение единственно (т. е. одна клеточка в табл. 1). Коэффициент  $b_1^{ijk}$  равен разности значений функции в узле  $(\pm 1, \pm 1, \pm 1)$  и узле  $(0, \pm 1, \pm 1)$ . Коэффициент  $b_{\infty}$  равен разности четырех значений функции в узлах  $(\pm 1, \pm 1, \pm 1)$ ;  $(0, \pm 1, \pm 1)$ ,  $(\pm 1, 0, \pm 1)$ ,  $(0, 0, \pm 1)$ .

Формула для  $b_{\infty}$  остается одинаковой для всех сегментов.

Значения коэффициентов  $\bar{B}$  сведены в табл. 3. для области  $\Omega_{111}$ . Для остальных областей сумма единиц в строках не меняется, меняется только столбец.

Таблица 3

Коэффициенты сплайна	Элементы матрицы (1/H DF)							
	$c_1$	$-c_2$	$-c_3$	$-c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$-c_8$
$b_0$	0	0	0	0	0	0	0	-1
$-b_1$	0	0	0	0	0	0	1	1
$-b_2$	0	0	0	0	0	1	0	1
$-b_3$	0	0	0	0	1	0	0	1
$b_{12}$	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1
$b_{13}$	0	0	-1	0	-1	0	-1	-1
$b_{23}$	0	-1	0	0	-1	-1	0	-1
$-b_{123}$	1	1	1	1	1	1	1	1

В заключение отметим, что рассматриваемые в работе [3] сплайны первой степени вычисляются по формуле, требующей формирования матриц блочно-диагональных очень большой размерности при увеличении количества узлов и факторов. Представленный в настоящей работе алгоритм лишен этого недостатка, так как дает представление сплайна на отдельном  $\mu$ -мерном параллелепипеде. Если поиск необходимого параллелепипеда осуществляется не на каждом шаге вычисления значения сплайна, то этот недостаток не влияет на эффективность использования алгоритма. Численная реализация его проста. Кроме того, рассматриваемое представление сплайна позволяет выявлять структурные изменения моделей в области допустимых значений факторов, что важно при анализе поведения объекта.

Список литературы: 1. Стечкин С. Б., Субботин Ю. Н. Сплайны в вычислительной математике. — М.: Наука, 1976. — 248 с. 2. Завьялов Ю. С., Квасов Б. И., Мирошниченко В. Л. Методы сплайн-функций. — М.: Наука, 1980. — 362 с. 3. Григорьев Ю. Д. Оптимальное планирование эксперимента для кусочно-гладких функций отклика. — Зав. лаб., 1980, 46, № 7, с. 634—637.

Поступила в редколлегию 11.04.82.

## РЕФЕРАТЫ

УДК 510.62

**Стандартные формы в конечной алгебре.** Шабанов-Кушнаренко Ю. П. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 3—10.

Сформулирована теорема о разложении и два ее следствия для конечной алгебры. Введены понятия совершенной дизъюнктивной и совершенной конъюнктивной нормальных форм, дизъюнктивной и импликативной конечных алгебр. Рассмотрены основные тождества конечной алгебры, доказана полнота системы этих тождеств. Описан алгоритм приведения произвольной формулы конечной алгебры к СДНФ. Введена операция отрицания в конечной алгебре и описаны ее основные свойства.

Библиогр.: 5 назв.

УДК 510.62

**О формальном описании префиксального поля.** Бондаренко М. Ф., Лазаренко О. В. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 10—15.

Предложена формальная запись префиксального поля в словах русского языка. На языке алгебры конечных предикатов описаны всевозможные формальные связи приставок в префиксальном поле.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 510.62

**Математическое описание акцентных характеристик русского языка.** Бондаренко М. Ф., Бондарев В. М., Калекина Т. Г., Прасол Г. А. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 16—21.

Рассматриваются вопросы разработки эффективного способа представления отношений естественного языка. Исследованы акцентологические нормы в области образования форм слов русского языка и построена их действующая математическая модель. В качестве языка формального описания использован математический аппарат алгебры конечных предикатов.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 510.62

**Формализация распределения морфов в морфеме.** Шаронова Н. В. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 21—27.

Предложена формальная запись на языке алгебры конечных предикатов процесса распределения морфов внутри суффиксальных морфем. Математическое описание ведется с использованием чисто формальных признаков, без привлечения семантических сведений.

Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 510.62

**О математическом описании морфонологических моделей при суффиксальном словообразовании имен существительных русского языка.** Рябова Н. В. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 27—33.

Исследуется действие морфонологических факторов на словообразовательные процессы на примере отсубстантивных производных суффиксальных существительных русского языка. Приводится классификация морфонологических моделей, действующих в рамках словообразовательных моделей. Разработана система формальных признаков, позволяющая однозначно распределить морфы внутри одной словообразовательной морфемы, приведена система уравнений алгебры конечных предикатов, описывающая морфонологические явления при построении математических моделей суффиксального словообразования существительных.

Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 510.62

**Вопросы теории формирования громкости слухового ощущения.** Маленченко З. Ю., Деркач В. Л. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 33—38.

Разработан подход к физико-математическому изучению преобразования органом слуха человека акустического сигнала в громкость слухового ощущения. Сформулированы законы слуха. Указан вид преобразования слухового стимула в громкость, удовлетворяющего законам слуха.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 519.76 : 681.3

**Выбор параметров речевого сигнала при автоматическом опознавании диктора.** Кантемир А. И. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 38—42.

Рассматривается возможность получения высокоинформативных и стабильных во времени параметров речевого сигнала при автоматической идентификации и верификации диктора по его голосу. Показано, что в речевом сигнале, представленном последовательностью стандартных импульсов, присутствуют параметры, отражающие основной тон голоса, его мелодическую картину и скорость речи.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 62.506.2

**Алгоритм разрешения местоимений в системах машинного анализа текстов.** Комаркова И. В., Терзиян В. Я. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 42—48.

Рассматривается проблема разрешения местоимений в системах машинного анализа естественных языковых текстов. Обсуждаются принципы подхода к разрешению различных классов местоимений. Рассматривается алгоритм разрешения личных местоимений на трех уровнях машинного анализа текста: морфологосинтаксическом, синтактико-семантическом и семантическом. Предложены способы преодоления неоднозначностей в процессе разрешения местоимений.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

УДК 681.518

**Разработка и исследование алгоритма нормализации полутонных изображений при проективных преобразованиях плоскости.** Пулятин Е. П., Машталир В. П., Майстренко А. А. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 48—52.

Предложен и исследован алгоритм определения параметров проективной группы преобразования изображений. Рассмотрен случай нормализации преобразований, близких к тождественным. Проанализированы пути понижения количества неизвестных коэффициентов проективных искажений.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.377.037.3

**Об одном способе сжатия текстовой информации.** Борисенко А. А., Губарев С. И., Стеценко Л. А. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 52—54.

Предложен метод сжатия текстовой информации на основе оптимальных кодов, в основу которого положено вычисление вероятностей буквенно-цифровых знаков на каждом такте кодирования. Приведены расчетные соотношения для вычисления вероятностей кодируемых знаков и дана оценка эффективности их сжатия.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 519.256 : 681.51

**Автоматизация проектирования системы задач обработки данных в среде безданных.** Буслик Н. Н., Дедиков Э. А., Чурилова Л. А. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 55—59.

Излагается подход к построению системы задач обработки данных в режиме диалога проектировщика и системы проектирования. Язык системного проектировщика является расширением входного языка системы управления базой данных, доступного непрограммисту.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 62.50

**Алгоритм автоматической классификации для определения информативных параметров.** Пряницкий А. М., Шевченко Г. Я., Тимиргаз Н. Я., Логвин В. В. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 59—61.

Предложен алгоритм автоматической классификации сложных объектов распознавания, который является результатом объединения двух известных алгоритмов таксономии: максиминного расстояния и К-групповых средних. Объединение алгоритмов позволило избавиться от их типичных недостатков, а также совместить две трудоемкие процедуры: сортировку и оптимизацию разбиения.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 514.174

**Об одном классе отображений в задачах геометрического проектирования.** Винарский В. Я., Новожилова М. В. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 61—68.

Излагается понятие Ф-отображения, позволяющее получить аналитическое описание объединения и пересечения континуального набора открытых областей. Предлагается метод построения отрицательных поверхностей уровня Ф-функции, основанный на регуляризованном аналитическом представлении Ф-функции посредством Ф-отображений. Описывается алгоритм определения условий взаимного непересечения геометрических объектов.

Библиогр.: 11 назв.

УДК 681.142.324

**Аналитический метод построения оценок максимальных значений решений обыкновенных дифференциальных уравнений.** Сенченко Н. И., Замалеев Ю. С. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 69—76.

Предложен метод построения оценок максимальных значений решений для систем нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка и нелинейных дифференциальных уравнений произвольного порядка. На примерах иллюстрировано применение метода.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 658.012.011

**Адаптация прикладного программного обеспечения АСУ.** Рось А. А., Богданов Ю. Г., Косинов А. Н. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 76—80.

Обсуждается дуальный характер адаптации прикладного программного обеспечения как модели процесса управления. Предлагается структура прикладного программного обеспечения, удовлетворяющего требованию адаптации правил выработки решения (обработки информации) к условиям функционирования АСУ.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

**Эргономическая оценка эксплуатируемой автоматизированной системы управления.** Эйям-Бердыев А. К.-М., Кривова А. А. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 81—86.

Проведены эргономические исследования условий и характера труда аппаратчиков в автоматизированном производстве хлора, щелочи, жидкого хлора и хлорной извести. Установлено, что труд аппаратчиков протекает на фоне дискомфортных гигиенических условий. Разработаны рекомендации, направленные на улучшение условий и повышение эффективности труда аппаратчиков.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 62—506.2.001:62/383.8

**Принципы моделирования однородных адаптивных биологических структур.** Дубинин Ф. Д. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 86—91.

Рассматривается оптоэлектронная среда, содержащая фотохромные вещества, необходимые для воспроизведения свойств адаптации.

Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.

УДК 612.82.014.42.001.57

**Алгоритмизация систем синхронных и асинхронных связей головного мозга** Колотенко Г. А. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 91—98.

Описывается методика системного анализа переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, позволяющего получить дополнительную полезную информацию, заключенную в электрограммах головного мозга.

УДК 612.821.8

**Оценка психофизиологического состояния операторов с помощью изучения микрогемодикуляции.** Михайлов А. А., Каруна Б. И., Космачевский Г. В., Тянянский С. Ф. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 99—103.

Рассматриваются теоретические и практические вопросы, связанные с состоянием конъюнктивной микрогемодикуляции человека. В результате моделирования процесса деятельности оператора на тренажере установлено, что целесообразно использовать метод биомикроскопии и микрофотографии бульбарной конъюнктивы в оценке психофизиологического состояния операторов для выявления ранних стадий наступающего утомления.

Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

УДК 612.014.42

**Система оценки качества операциональной деятельности человека-оператора.** Семик Т. М., Кочевых В. И. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 104—107.

Описана система оценки качества операциональной деятельности человека-оператора, предложены простые коэффициенты оценки качества деятельности.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 62.506.2

**О роли ретикулярной формации в регуляции сердечно-сосудистой системы.** Сообщение 4. Ананин В. Ф., Вельховер Е. С. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 108—120.

Показана роль ретикулярной формации (РФ) в регуляции сердечно-сосудистой системы С—С. Указано, что регуляция осуществляется путем изменения активирующей функции РФ, адекватного внешним и внутренним условиям индивида. При этом роль РФ в регуляции контуров С—С преимущественно коррекционная.

Ил. 2. Библиогр.: 7 назв.

УДК 62.506.2

**Определение параметров СОИ с учетом особенностей зрительного анализатора.** Королев А. В., Кулик П. Д. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 120—126.

Приводятся и описываются номограммы для расчета основных параметров средств отображения информации с учетом возможностей зрительного анализатора человека.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.6 : 681.5 : 66 : 012—52

**Идентификация технологических процессов с использованием многомерных сплайн-функций первой степени.** Саенко В. И. — Проблемы бионики, 1984, вып. 33, с. 126—132.

Рассматриваются вопросы применения многомерных сплайн-функций первой степени в задачах идентификации технологических процессов. Предлагается алгоритм вычисления коэффициентов многомерной сплайн-функции. Приводятся примеры вычисления коэффициентов для случая трех переменных при двух- и трехузловом разбиении регулярной сетки по каждой переменной.

Табл. 3. Библиогр.: 3 назв.