

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

# ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

ВЫПУСК 25

Республиканский  
межведомственный  
научно-технический  
сборник

Основан в 1968 г.

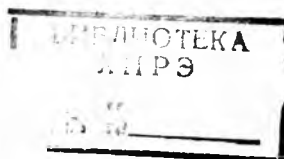
83

2001

XHYPE Problemy byonyky



B-970-2



ХАРЬКОВ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА»  
1980

**Проблемы бионики.** Вып. 25. — Респ. межвед. науч.-техн. сборник. — Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, 124+5 с.

Сборник посвящен вопросам математического моделирования процессов переработки словесной и сенсорной информации, развития математического аппарата, ориентированного на формальное описание функций человеческого интеллекта. Исследуются возможности технической реализации сенсорных моделей и нейроноподобных преобразователей информации.

Для научных работников и специалистов в области бионики, кибернетики и вычислительной техники, инженерной психологии, биологии и медицины.

Списки литературы в конце статей.

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

*Адрес редакционной коллегии* 310218, Харьков, пр. Ленина, 14, институт радиоэлектроники, тел. 40-94-32

Редакция естественнонаучной литературы.









щих сигналы  $t_1, t_2, \dots, t_n$  в ответ на поступление на их входы сигналов  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Однако такая цепь не экономна.

Во многих случаях экономия может быть достигнута за счет объединения независимых цепей в единую и использования одних и тех же блоков цепи при формировании различных выходных сигналов (отказ от трехступенчатости и переход к цепям с большим числом ступеней). Рассмотрим пример. Задана система

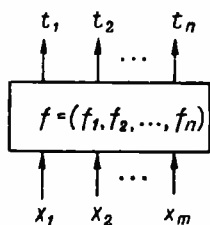


Рис. 1

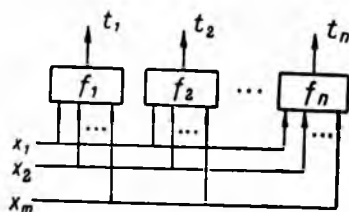


Рис. 2

из двух конечных предикатов  $f$  и  $g$  в виде их минимальных дизъюнктивных нормальных форм:

$$f = x_1^a x_2^a \vee x_1^a x_2^b \vee x_2^c x_3^a; \quad (10)$$

$$g = x_1^a \vee x_2^c x_3^a. \quad (11)$$

Реализуя формулы (10) и (11) независимо действующими цепями, получаем схему с 8 блоками узнавания и 13 диодами при трех ступенях (рис. 3).

По таблицам предикатов  $f$  и  $g$  устанавливаем, что предикат  $f$  является импликантой предиката  $g$ . Это дает нам возможность записать предикат  $g$  в форме

$$g = f \vee x_1^a. \quad (12)$$

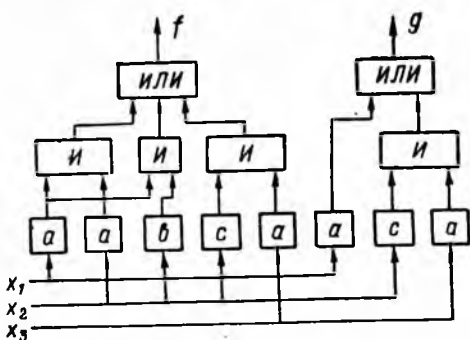


Рис. 3

По формулам (10) и (11) строим цепь, содержащую 5 блоков узнавания и 11 диодов при четырех ступенях (рис. 4, а).

Другой вариант еще более экономной цепи можно получить, замечая, что в обеих формулах (10) и (11) имеется один и тот же дизъюнктивный член  $x_2^c x_3^a$ . Вводим дополнительную логическую переменную

$$t = x_2^c x_3^a. \quad (13)$$



нал), а на остальных — 0. В этом случае блок 2 должен сформировать на своем выходе сигнал  $b_i$ , соответствующий решению уравнения  $y^{b_i} = 1$ . Если же алфавитный оператор  $G$  — частичный, для некоторых наборов  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$  блок 1 на всех своих выходных каналах сформирует сигнал 0; блок 2 не должен реагировать никаким выходным сигналом  $y$ . Отсутствие сигнала с блока 2 не следует смешивать с появлением на выходе этого блока знака пробела. В качестве блока 2 можно использовать устройство вывода информации для универсальной

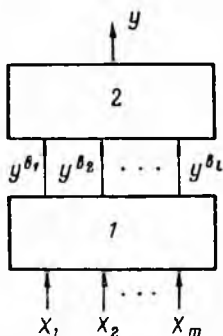


Рис. 5

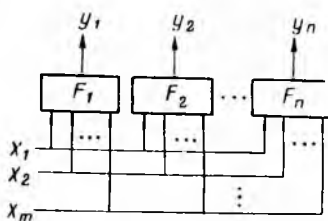


Рис. 6

ЭВМ или цифро-аналоговый преобразователь управляющей вычислительной машины (например, буквопечатающее устройство). В этом случае единичным значениям логических переменных  $y^{a_1}, y^{a_2}, \dots, y^{a_l}$  соответствуют сигналы, возбуждающие электромагниты печатающего устройства. Эти электромагниты приводят в движение рычаги или молоточки, печатающие соответственно буквы  $a_1, a_2, \dots, a_l$ .

Обычно в алфавите печатающего устройства предусматривается знак пробела  $\square$ . Единичное значение переменной  $y^{\square}$  соответствует наличию сдвига каретки или поворота барабана с бумажной лентой на один шаг. Если  $y^{\square} = 0$ , на соответствующем месте бумажной ленты не печатается никакой знак, однако происходит перемещение каретки или ленты в следующую позицию. Число молоточков равно  $(l - 1)$ , оно на единицу меньше числа различных букв, формируемых буквопечатающим устройством. Предположим, что для некоторого набора значений переменных  $y^{a_1}, y^{a_2}, \dots, y^{a_l}$  значение  $y^{\square}$  не должно существовать. Физически это соответствует отсутствию каких бы то ни было реакций буквопечатающего устройства в ответ на появление комбинации сигналов  $y^{a_1}, y^{a_2}, \dots, y^{a_l}$ , управляющих его работой.

Когда в роли блока 2 используется цифро-аналоговый преобразователь, то буквы  $b_1, b_2, \dots, b_l$  соответствуют некоторым физическим состояниям, формируемым на выходе преобразователя в ответ на появление одиночного сигнала 1 соответственно

на первом, втором и т. д.  $l$ -м его входе при нулевых значениях сигналов на остальных входах. Если на все входы преобразователя поступят нулевые сигналы, в ответ на это его выход должен просто бездействовать. На такой набор входных сигналов блок 2

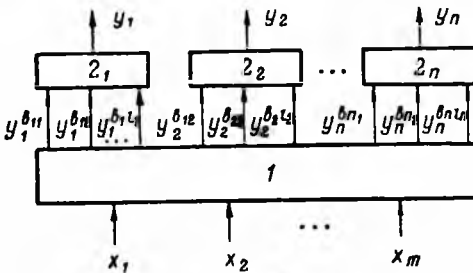


Рис. 7

не должен вообще откликаться какими бы то ни было физическими состояниями. Выходной сигнал цифро-аналогового преобразователя должен отсутствовать также и в том случае, если на входы блока 2 одновременно поступит сразу несколько единичных сигналов. Это может произойти, например, в результате сбоя в переключательной цепи блока 1.

Алфавитный оператор общего вида  $y_1 y_2 \dots y_n = F(x_1, x_2, \dots, x_m)$  можно, как указывалось, представить в виде системы алфавитных операторов (5), формирующих отдельные буквы выходного слова алфавитного оператора  $F$ . Каждый же из операторов  $F_i (1 \leq i \leq n)$  можно описать системой уравнений типа (15), а от

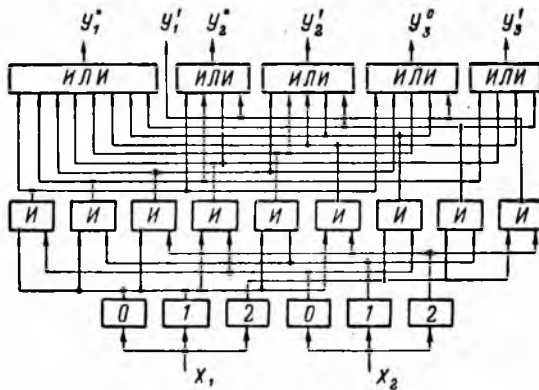


Рис. 8

нее перейти к соответствующей переключательной цепи. В результате получаем устройство, схематически изображенное на рис. 6.

Любой из блоков этого устройства можно представить в виде двухкаскадной системы, показанной на рис. 5. С целью достижения экономии оборудования объединим цепи первых каскадов всех блоков в единую цепь. В результате приходим к схеме, представленной на рис. 7. Ей соответствует система уравнений (6).

Блок  $l$  — это единая переключательная цепь, формирующая по буквам входного слова  $x_1, x_2, \dots, x_m$  узнавания  $y_1^{b_{11}}, y_1^{b_{12}}, \dots, y_1^{b_{1i}}, y_2^{b_{21}}, y_2^{b_{22}}, \dots, y_2^{b_{2i}}, \dots, y_n^{b_{n1}}, y_n^{b_{n2}}, \dots, y_n^{b_{ni}}$ . Блок  $2i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) осуществляет преобразование набора узнаваний  $y_i^{b_{j1}}, y_i^{b_{j2}}, \dots, y_i^{b_{ji}}$  в  $i$ -ю букву  $y_i$  выходного слова. В дальнейшем на схемах устройств, реализующих конечные алфавитные операторы, блоки  $2i$ , как однотипные, изображать не будем, приводя лишь блок  $l$  в виде некоторой переключательной цепи со многими выходами.

Рассмотрим пример. Требуется реализовать в виде трехступенчатой переключательной цепи алфавитный оператор  $y_1 y_2 y_3 = F(x_1 x_2)$ , заданный уравнениями (8). Трехступенчатая переключательная цепь, построенная по этим формулам, изображена на рис. 8. Цепь содержит 6 блоков узнавания и 44 диода.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Аналитические методы неявного задания конечных алфавитных операторов.— В кн.: АСУ и приборы автоматки. Харьков, 1980, вып. 54. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об алгебре предикатов с отрицанием.— В кн.: АСУ и приборы автоматки. Харьков, 1978, вып. 22, с. 42—49.

Поступила 28 марта 1979 г.

УДК 510.62

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

## О ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЯХ ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТА

Переключательные цепи, которые могут быть построены по формулам теории интеллекта [1], существенно отличаются от комбинационных схем, применяемых в современных вычислительных машинах. В комбинационных схемах входная и выходная информация имеет вид двоичных кодов, в переключательных цепях — представлена в форме слов, составленных из букв произвольного алфавита. При использовании переключательных цепей отпадает необходимость в кодировании входной и декодировании выходной информации, что неизбежно при применении комбинационных схем. В отличие от последних в переключательных цепях механизмы ввода и вывода информации включены в состав устройства обработки ее. Эти механизмы составляют единое целое со схемой, осуществляющей преобразование двоичных сигналов. В связи с этим появляется возможность производить минимизацию всего устройства в целом, а не только его центральной части, и за счет этого получать дополнительную экономию оборудования.

При конструировании всего устройства в целом появляются дополнительные возможности для его минимизации [1]. Так,

число блоков узнавания во входной (первой) ступени цепи существенно зависит от способа соединения блоков вышележащих ступеней, преобразующих двоичные сигналы. В переключательной цепи, как и в комбинационной схеме, происходит преобразование двоичных сигналов в блоках совпадения и разделения. Однако интерпретация двоичных сигналов, циркулирующих в устройствах этих двух видов, различна. В комбинационных схемах мы рассматриваем сигналы 0 и 1 сами по себе без связи с буквенной информацией. В переключательных же цепях с каждым проводником, воспринимающим или выдающим двоичные сигналы, мы связываем определенное узнавание  $x^\sigma$ , где  $\sigma$  — некоторая буква, а  $x$  — какая-либо буквенная переменная. Двоичные сигналы, проходящие по такому проводнику, интерпретируем теперь как значения узнавания  $x^\sigma$ , соответствующего этому проводнику. Если по проводнику проходит сигнал 1,  $x^\sigma = 1$ , т. е. буквенная переменная  $x$  принимает значение  $\sigma$ . Если же по проводнику проходит сигнал 0,  $x^\sigma = 0$  и значение переменной  $x$  не совпадает с буквой  $\sigma$ , т. е.  $x \neq \sigma$ .

Таким образом, с содержательной точки зрения переключательные цепи преобразуют не двоичные коды слов, а сами слова, составленные из букв. Следует ожидать, что с точки зрения человека — конструктора, для которого привычным является оперирование со словами, составленными из букв, а не с двоичными кодами этих слов, переключательные цепи будут выглядеть более естественным средством преобразования информации, чем комбинационные схемы. Важно подчеркнуть, что принимая число букв в алфавите алгебры конечных предикатов, равным двум, получаем возможность построить по формулам этой алгебры любую комбинационную схему. Таким образом, перейдя от алгебры логики к алгебре конечных предикатов и от комбинационных схем к переключательным цепям, разработчик вычислительных машин приобретает новые средства конструирования устройств преобразования информации, не теряя при этом ничего из арсенала средств, уже имеющихся в его распоряжении.

Вместе с тем, переключательные цепи, построенные по формулам алгебры конечных предикатов, имеют определенные преимущества также и в сравнении со схемами, которые строят по формулам многозначной логики. Эти схемы (назовем их многозначными) отчасти являются конкурентами переключательных цепей, поскольку они создаются в противовес двоичным комбинационным схемам с целью перехода к автоматической обработке непосредственно буквенной информации. Недосток многозначных схем состоит в том, что для их построения нужны блоки, преобразующие сами буквы, а не двоичные знаки. Однако многолетние попытки создать такие блоки пока не привели к разработке элементов, которые могли бы успешно конкурировать с элементами, обрабатывающими двоичные сигналы (совпадения, разделения, инверторы и др.).

Переключательные же цепи соединяют в себе, казалось бы, несоединимое: обработку буквенной информации с аппаратурным преобразованием двоичных сигналов, что удобно человеку и приемлемо для вычислительной машины. Любопытно, что уже сегодня стихийно, еще не имея в своем распоряжении аппарата алгебры конечных предикатов, разработчики вычислительных машин используют приемы, которые выглядят гораздо естественнее в рамках алгебры конечных предикатов, чем алгебры логики. К числу таких приемов можно отнести использование дизъюнктивных и конъюнктивных нормальных форм, применение парафазных схем, использование пространственного принципа представления информации. Автор надеется, что переключательные цепи, являющиеся логическим следствием развития теории интеллекта, будут приняты разработчиками электронной техники как естественное средство при конструировании цифровых вычислительных машин новых поколений.

Конкретный вид переключательной цепи, реализующей заданный алфавитный оператор, определяется видом этого оператора, рядом требований, диктуемых практикой. Сформулируем некоторые из этих требований и на конкретном примере рассмотрим, как меняется вид цепи в зависимости от характера требований. Предположим, что требуется построить цепь, преобразующую двоичные цифры  $x_1, x_2, x_3$  в их сумму, записанную смешанным кодом типа  $(k_1, k_2, \dots, k_n)$  [3], причем числа  $k_1, k_2, \dots, k_n$  и число  $n$  выбираются по усмотрению разработчика цепи. В данном примере возможные следующие три варианта типа кода: (2,2), (2,3), (4); сложение цифр  $x_1, x_2, x_3$  может быть задано тремя различными алфавитными операторами:  $y_1 y_2 = F_1(x_1 x_2 x_3)$ ;  $z_1 z_2 = F_2(x_1 x_2 x_3)$ ;  $u = F_3(x_1 x_2 x_3)$ . Здесь  $y_1, y_2, z_1$  — двоичные цифры,  $z_2$  — троичная и  $u$  — четверичная цифры. Операторы  $F_1, F_2, F_3$  задаем соответственно табл. 1—3.

Таблица 1

$x_1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$x_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
$x_3$	0	1	0	1	0	1	0	1
$F$	0	0	0	1	0	1	1	1
$y_1$	0	1	1	0	1	0	0	1

Таблица 2

$x_1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$x_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
$x_3$	0	1	0	1	0	1	0	1
$z_1$	0	0	0	0	0	0	0	1
$z_2$	0	1	1	2	1	2	2	0

Таблица 3

$x_1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$x_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
$x_3$	0	1	0	1	0	1	0	1
$u$	0	1	1	2	1	2	2	3

Способом, описанным в работе [1], переходим от таблиц к уравнениям, явно задающим оператор  $F_1$ :

$$x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 = y_1^0; \quad x_1^1 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 = y_1^1; \quad x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 = y_2^0; \quad x_1^0 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 = y_2^1; \quad x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 = y_2^2; \quad x_1^0 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 = y_2^3$$

$$\vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 = y_2^1; \quad (1)$$

оператор  $F_2$ :

$$\begin{aligned} x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 &= z_1^0; \\ x_1^1 x_2^1 x_3^1 &= z_1^1; \quad x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 = z_2^0; \quad x_1^0 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 &= z_2^1; \\ x_1^0 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 &= z_2^2; \end{aligned} \quad (2)$$

оператор  $F_3$ :

$$\begin{aligned} x_1^0 x_2^0 x_3^0 &= u^0; \quad x_1^0 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 = u^1; \\ x_1^0 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 &= u^2; \quad x_1^1 x_2^1 x_3^1 = u^3. \end{aligned} \quad (3)$$

Когда требуются цепи с максимальным быстродействием, целесообразно применять трехступенчатые переключательные цепи со многими выходами. Поскольку эти цепи имеют наименьшее возможное число ступеней, время, необходимое для прохождения сигналов по ним, будет минимальным. Построив по полученным формулам методом, изложенным в работе [1], трехступенчатые цепи, мы получили бы для каждой из них в первой ступени по 6 блоков узнавания, во второй — по 8 блоков совпадения с суммарным числом входов 24. В третьей ступени цепи для оператора  $F_1$  мы имели бы 4 блока разделения с 16 входами, для оператора  $F_2$  — 4 блока разделения с 15 входами, для оператора  $F_3$  — 2 блока разделения с 6 входами.

Как видим, сложность переключательной цепи, реализующей некоторое преобразование информации, существенно зависит от способа кодирования выходных слов этого преобразования. В нашем примере при коде типа (2,2) для построения цепи требуются 40 диодов, при коде типа (2,3) — 39, при коде типа (4) — 30. Поэтому варьируя тип кода выходных слов, в ряде случаев можно получить дополнительные упрощения в схеме переключательной цепи. Интересной задачей, ждущей своего решения, является получение асимптотических оценок сложности цепей в зависимости от выбора типа кодирования информации. Можно предположить, что при уменьшении числа  $n$  будут, как правило, получаться более экономные цепи. Однако при этом может наблюдаться усложнение выходных устройств, преобразующих значения узнаваний букв в сами буквы.

Рассмотрим некоторые из вариантов переключательных цепей, которые могут быть получены в обсуждаемом примере при типе кода выходных слов (2,2). Аналогичные рассмотрения могут быть проведены также и для типов кода (2,3) и (4). В некоторых практических приложениях более важным может оказаться требование минимальности стоимости цепи, достигаемой за счет снижения ее быстродействия. В этом случае целесообразно остановить выбор на многоступенчатой переключательной цепи. Отправляясь от уравнений (1) и пользуясь описанными методами

построения многоступенчатых безынверторных цепей и цепей со многими выходами [1], приходим к пятиступенчатой схеме. В ней число блоков узнавания осталось таким же, как и в трехступенчатой схеме (6), число же диодов несколько уменьшилось (34 вместо 40). Экономия в числе диодов достигнута ценой увеличения числа ступеней (5 вместо 3), т. е. в конечном итоге за счет снижения быстродействия цепи.

Важно обратить внимание на то, что обсуждаемая переключательная цепь сама формирует область  $\{0,1\}$  изменения своих входных сигналов  $x_1, x_2, x_3$ , поэтому по входным каналам цепи разрешается подавать не только символы 0 и 1, но и любые другие буквы. Если хотя бы по одному из трех входных каналов поступит буква, отличная от 0 или 1, цепь в ответ на это на всех своих выходных каналах  $y_1^0, y_1^1, y_2^0, y_2^1$  выработает нулевые значения, сигнализируя о неприемлемости входной информации.

Если заранее известно, что на входы цепи будут подаваться только допустимые буквы (в нашем примере — только 0 и 1), переключательную цепь можно дополнительно упростить за счет использования усеченных законов истинности. Для нашего примера имеют место следующие усеченные законы истинности:

$$x_1^0 \vee x_1^1 = 1, \quad x_2^0 \vee x_2^1 = 1, \quad x_3^0 \vee x_3^1 = 1. \quad (4)$$

С учетом равенств (4), вводя промежуточные переменные  $t_1 \div t_{10}$ , систему уравнений (1) преобразуем к виду

$$\begin{aligned} t_1 &= x_1^0 x_2^0; \quad t_2 = x_1^0 x_2^1; \quad t_3 = x_1^1 x_2^0; \quad t_4 = x_1^1 x_2^1; \quad t_5 = t_2 \vee t_3; \\ t_6 &= t_1 \vee t_4; \quad t_7 = x_3^0 t_5; \quad t_8 = x_3^1 t_5; \quad t_9 = x_3^0 t_6; \quad t_{10} = x_3^1 t_6; \quad y_1^0 = t_1 \vee t_7; \\ y_1^1 &= t_4 \vee t_8; \quad y_2^0 = t_9 \vee t_{10}; \quad y_2^1 = t_7 \vee t_{10}. \end{aligned} \quad (5)$$

По уравнениям (5) строим переключательную цепь (рис. 1). Она, как и предыдущая, имеет 5 ступеней и 6 блоков узнавания, однако для ее построения требуется меньшее число диодов (28 вместо 34).

Во всех трех рассмотренных случаях информация о выходных сигналах  $y_1$  и  $y_2$  формируется переключательными цепями с избытком. Очевидно, что достаточно было бы сформировать на выходах цепей лишь сигналы  $y_1^1, y_2^1$  (или  $y_1^0, y_2^0$ , или  $y_1^0, y_2^1$ , или  $y_1^1, y_2^0$ ), чтобы получить полную информацию о значениях переменных  $y_1$  и  $y_2$ . Такая избыточность для некоторых применений может оказаться полезной, так как повышает надежность работы цепи, позволяя обнаруживать сбои в ее работе. В наборах сигналов  $(y_1^0, y_1^1)$  и  $(y_2^0, y_2^1)$  при нормальной работе цепи всегда должны быть как единица, так и нуль. Если же в ней произошел сбой, искаживший один из выходных сигналов, это приведет к появлению недопустимых наборов значений (0, 0) или (1, 1) на выходах цепи. В том случае, когда требования,

предъявляемые к цепи таковы, что избыточность формируемой ею информации не нужна, возможны дополнительные упрощения переключательной цепи. В нашем примере, сохраняя в схеме

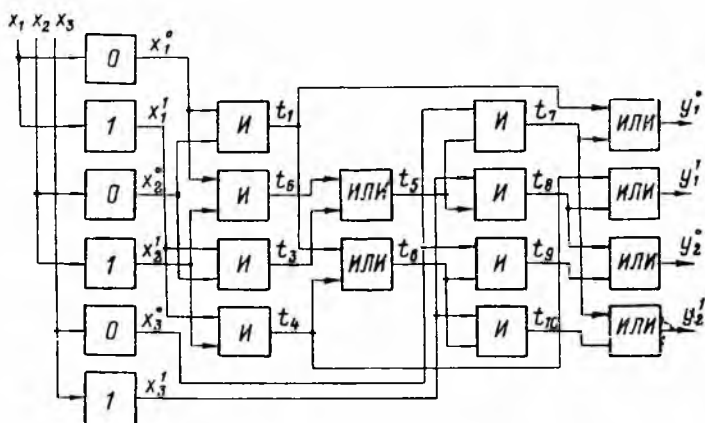


Рис. 1

лишь два выхода:  $y_1^1$  и  $y_2^1$ , получаем пятиступенчатую переключательную цепь, содержащую 6 блоков узнавания и 22 диода (рис. 2). Цепь построена по следующим уравнениям:

$$\begin{aligned}
 t_1 &= x_1^0 x_2^0; & t_2 &= x_1^0 x_2^1; & t_3 &= x_1^1 x_2^0; & t_4 &= x_1^1 x_2^1; & t_5 &= t_2 \vee t_3; & t_6 &= \\
 &= t_1 \vee t_4; & t_7 &= x_3^0 t_5; & t_8 &= x_3^1 t_5; & t_9 &= x_3^1 t_6; & y_1^1 &= t_4 \vee t_8; & y_2^1 &= t_7 \vee t_9.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

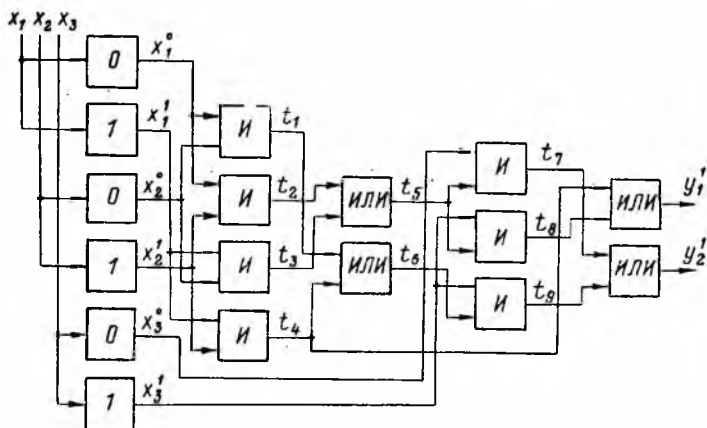


Рис. 2

Цепь можно упростить больше, если использовать в ней инверторы. Принимая в качестве выходных сигналы  $y_1^0$  и  $y_2^1$ , по-

лучаем схему, содержащую 6 ступеней, 6 блоков узнавания, 14 диодов и 1 инвертор (рис. 3) и описываемую уравнениями:

$$t_1 = x_1^0 x_2^0; \quad t_2 = x_1^1 x_2^1; \quad t_3 = t_1 \vee t_2; \quad t_4 = x_3^0 \bar{t}_3; \\ y_1^0 = t_1 \vee t_4; \quad y_2^1 = x_3^1 t_3 \vee t_4. \quad (7)$$

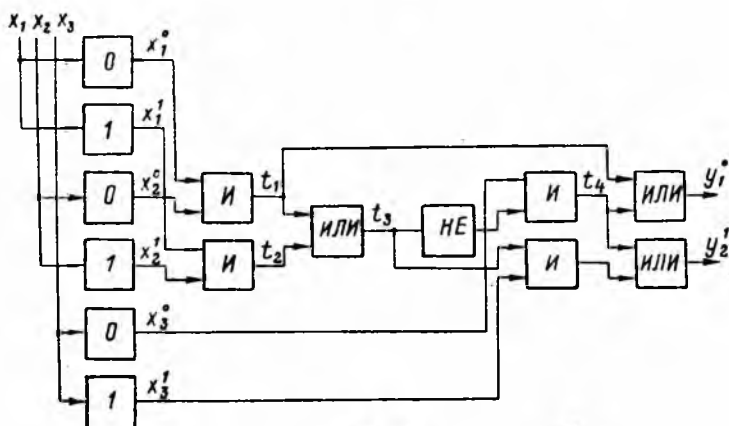


Рис. 3

Другой вариант экономной цепи получаем, выбирая в качестве выходных сигналы  $y_1^1$  и  $y_2^1$ . В ней используются 7 ступеней, 3 блока узнавания, 16 диодов и 1 инвертор (рис. 4). Цепь построена по следующим уравнениям:

$$t_1 = x_1^0 x_2^0; \quad t_2 = x_1^1 x_2^1; \quad y_2^1 = x_3^1 t_1 \vee t_2; \quad y_1^1 = (x_3^1 \vee t_1) y_2^1 \vee x_3^1 t_2. \quad (8)$$

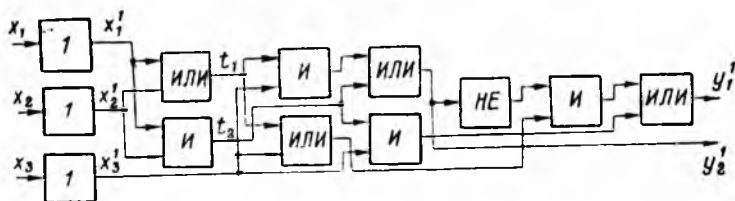


Рис. 4

Рассмотрены примеры переключательных цепей различной сложности, реализующих одну и ту же операцию сложения двоичных цифр. Эти примеры могут служить иллюстрацией того общего положения, что сложность цепи определяется не только видом заданного преобразования информации, но также и различными практическими требованиями, предъявляемыми к переключательной цепи. К числу таких требований относятся: максимальное быстродействие цепи; минимальная сложность ее; мак-

симильная надежность работы; необходимость селекции допустимых букв из множества всевозможных букв, поступающих на входы цепи. В распоряжении разработчика имеется ряд приемов конструирования переключательных цепей, с помощью которых он может в той или иной степени удовлетворить упомянутым требованиям. К числу подобных приемов можно отнести следующие: варьирование типом кода выходных слов, числом ступеней цепи, блоков узнавания и диодов; введение в цепь инверторов и варьирование их числом; использование минимальных дизъюнктивных и конъюнктивных нормальных форм, скобочных форм, приемов построения цепей со многими выходами; введение или устранение избыточности при передаче информации по цепи.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Аналитический метод явного задания конечных алфавитных операторов.— В кн.: Проблемы бионики, Харьков. 1980, вып. 25, с. 25—33. 2. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Об универсальной алгебре конечных предикатов.— В кн.: АСУ и приборы автоматки. Харьков, 1980, вып. 55, с. 69—74.

Поступила 26 марта 1979 г.

УДК 519.766.2

М. Ф. БОНДАРЕНКО, В. М. БОНДАРЕВ

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОВОИЗМЕНЕНИЯ ИМЕН СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫХ. Сообщение 1

Связь между словом  $X$ , его формой  $Y$  и грамматическими характеристиками формы  $Z$ , объективно существующая в языке, может быть описана в виде тернарного отношения  $L(X, Y, Z)$ , названного морфологическим [1]. При этом  $X, Y \in S$  — множеству всевозможных последовательностей конечной длины, составленных из букв русского алфавита, символов дефиса и ударения;  $Z \in M$  — множеству наборов значений словоизменятельных грамматических категорий.

Будем говорить, что морфологическое отношение  $L(X, Y, Z)$  выполняется тогда и только тогда, когда: 1)  $Y$  — словоформа парадигмы слова  $X$ ; 2)  $Y$  выражает значение грамматических категорий  $Z$ ; 3) значение категорий  $Z$  допустимо для данного слова  $X$ . Таким образом, выполнимость морфологического отношения целиком сводится к выполнимости трех бинарных отношений  $l_1(X, Y)$ ,  $l_2(Y, Z)$ ,  $l_3(X, Z)$ , что справедливо не для всякого тернарного.

Языковая практика подсказывает нам, что результат проверки каждого из трех условий должен быть однозначным, а это влечет однозначность выполнимости морфологического отношения.

Поясним сказанное примером. Пусть задано слово *стол*, словоформа *столами* и следующие грамматические категории: падеж *творительный*, число *множественное*. Чтобы установить, состоят ли эти данные в морфологическом отношении, следует убедиться, что: 1) *столами* есть форма слова *стол*; 2) словоформа *столами* стоит в *именительном* падеже *множественного* числа; 3) для слова *стол* имеют смысл такие категории, как падеж и число, и такие их значения, как *творительный* и *множественное*. Так как все условия в данном случае выполняются, выполняется и морфологическое отношение.

Может показаться, что морфологическое отношение сводится только к выполнению двух первых требований. Но тогда надо согласиться, что тройка  $\langle \textit{тереть}, \textit{три}, \text{часть речи} — \textit{числительное} \rangle$  состоит в морфологическом отношении, так как: 1) *три* является формой глагола *тереть*; 2) *три* — *числительное*. Отношение, определенное подобным образом, не представляет интереса для математического описания языка.

Если бы удалось получить такое описание морфологического отношения, которое позволило эффективно определять неизвестные компоненты кортежа  $\langle X, Y, Z \rangle$  по заданным, возникла бы возможность решать задачи анализа, синтеза, нормализации изолированных словоформ. Задача синтеза требовала бы отыскания компоненты  $Y$  по заданным  $X$  и  $Z$ , задача анализа — отыскания  $Z$  по заданной компоненте  $Y$ , а нормализация заключалась бы в получении  $X$  по известной  $Y$ . Целью данной работы и является построение математической модели словоизменения имен существительных русского языка путем формального описания соответствующего морфологического отношения. Описание должно позволять достаточно эффективно отыскивать значения неизвестных компонент кортежа  $\langle X, Y, Z \rangle$  по заданным.

Основой для математического описания морфологии может послужить изучение процесса синтеза словоформ. Решить задачу синтеза — значит указать множество словоформ определенного слова, обладающих заданными значениями грамматических категорий. При этом значения грамматических категорий должны иметь смысл для данного слова. Совокупность всех троек  $\langle X, Y, Z \rangle$ , где  $X$  и  $Z$  — исходные данные для синтеза, а  $Y$  — одна из словоформ, полученных в результате синтеза, задает тернарное отношение. Из определения морфологического отношения непосредственно следует, что отношение, задаваемое синтезом, и является морфологическим. Необходимо заметить, что в основу математической модели может быть положена процедура анализа или нормализации. Выбор синтеза продиктован его наибольшей разработанностью [2].

Морфологическое отношение, как и всякое другое, целиком и полностью определяется своей характеристической функцией  $L_f(X, Y, Z)$ , которая задается следующим образом:

$$L_f(X, Y, Z) = \begin{cases} 1, & \text{если } L(X, Y, Z) \text{ выполняется;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Аргументы  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  заданы на множествах  $S$ ,  $S$  и  $M$  соответственно. Функцию  $L_f(X, Y, Z)$  назовем морфологической функцией. Последняя представляет собой предикат, определенный на конечных предметных областях, и является более удобным объектом для описания, чем отношение. Вновь введенное понятие позволяет уточнить постановку задачи. А именно, под математической моделью словоизменения будем понимать определенным образом заданную морфологическую функцию. Цель дальнейшего исследования — разработка способа задания и отыскание вида функции для имен существительных субстантивного склонения.

Морфологическая функция дает возможность интерпретировать задачи анализа, синтеза, нормализации как решение уравнений типа  $L_f(X, Y, Z) = 1$ . Каждая из задач содержит в своем условии значения некоторых переменных. Например, синтез словоформы *родительного падежа, множественного числа слова стол* эквивалентен отысканию корня уравнения  $L_f(\text{стол}; Y; \text{множественное число, родительный падеж}) = 1$ . Анализ словоформы *волной* сводится к решению уравнения  $L_f(X; \text{волной}; Z) = 1$ . Если уравнение имеет более одного корня, это говорит о неоднозначном решении данной морфологической задачи. Например, корнями уравнения  $L_f(\text{тенор}; Y; \text{множественное число, именительный падеж}) = 1$  являются:  $Y_1 = \text{т'еноры}$  и  $Y_2 = \text{тенор'а}$ ; оба корня — формы именительного падежа множественного числа слова *тенор*. Если же уравнение не имеет корней, у данной морфологической задачи отсутствует решение; например, уравнение  $L_f(X; \text{куздре, единственное число, дательный падеж}) = 1$ , соответствующее задаче отыскания лексемы словоформы *куздре*, не имеет решения так как в русском языке такой лексемы не существует.

Известно, что всякая словоформа целиком определяется своим буквенным составом и местом ударения. Существует линеализованный способ записи словоформ с ударением, а именно, символ ударения помещается в строке непосредственно перед ударной гласной буквой. Таким образом, словоформа представима в виде конечной цепочки символов некоторого алфавита  $A$ . В этот алфавит входят все русские буквы, знак дефиса, так как существуют слова с дефисом, и символ ударения. Введем множество переменных, общей областью изменения которых является алфавит  $A$ , и назовем их буквенными переменными. Название придиктовано тем, что элементы  $A$  в основном — буквы, однако в дальнейшем будем называть буквенной любую переменную со значениями из конечного множества символов.

Переменную  $Y$  можно подменить фиксированной совокупностью буквенных переменных  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , причем значением переменной  $y_i$  служит  $i$ -я по счету буква словоформы. Противоречие между фиксированным количеством буквенных переменных и различным числом букв в словоформах русского языка можн

азрешить следующим образом. Во-первых, потребовать, чтобы число переменных  $n$  было не меньше числа букв в самой длинной словоформе, во-вторых, дополнить каждую словоформу справа особыми символами так, чтобы она состояла ровно из  $n$  символов. Это не единственный способ разрешить упомянутое противоречие, но он является приемлемым для наших целей.

В сфере словоизменения понятие слова имеет, по крайней мере, два аспекта. Во-первых, слово — единица словаря, текст, выражающий определенный смысл. С этой точки зрения для обозначения слов пригодны любые попарно различные символы, например, натуральные числа. Во-вторых, слово служит базой для образования своих форм. В самом деле, русские словоформы одной словоизменительной парадигмы имеют много общего, и было удобно, если бы это общее содержалось в обозначении слова. Существует лексикографическая традиция использовать для обозначения слова одну из его форм. Для существительных обычно это форма единственного числа именительного падежа. Возникающие случаи омонимии разрешаются с помощью цифры счета омонимии, например, 1 лев (животное) и 2 лев (денежная единица). Такой способ обозначения слов отвечает двум аспектам понятия слова, о которых говорилось выше, поэтому мы им воспользуемся.

В силу избранного способа обозначения слова переменную  $X$  можно заменить множеством переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$  подобно тому, как это было сделано с переменной  $Y$ . Здесь также  $i$ -я буква в строке символов, представляющей слово, служит значением переменной  $x_i$ . Помимо переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$  введем буквенную переменную  $x_0$ , означающую цифру счета омонимии. В числе ее возможных значений примем первые  $k$  членов натурального ряда, где  $k$  — максимально возможное число слов, которые имеют одинаковый буквенный состав и ударение, но выражают различный смысл. Каждому смыслу сопоставим свое значение переменной  $x_0$ , например для слова лев (животное)  $x_0 = 1$ , а для лев (денежная единица)  $x_0 = 2$ . Словам, не имеющим омонимов, припишем  $x_0 = 1$ .

Для того чтобы определить состав грамматических категорий создаваемой модели, сформулируем два требования к самой модели. Первое: описание предиката  $L_f(X, Y, Z)$  должно быть таково, чтобы задача синтеза имела, по возможности, единственное решение. Это приблизит функционирование модели в режиме синтеза к тому, как говорит или пишет человек, а он делает это однозначно. Второе: морфологическая модель должна естественным образом состыковываться с моделью синтаксического уровня обработки текста.

Чтобы удовлетворить первому требованию, в состав грамматических категорий  $Z$  следует включить помимо словоизменительных (для существительных — число и падеж) такие категории, которые «управляют» вариантностью образования форм. Это можно сделать, если удастся установить закономерность в образовании

вариантов. Например, известно, что у некоторых слов существуют современные и архаичные варианты форм, так *рукой* — современный вариант, *рукою* — архаичный, поэтому целесообразно включить в состав  $Z$  категорию со значениями: *современный*, *архаичный*. Иногда варианты форм выражают более тонкие различия смысла, например, *лес'а* и *лѣса* (обе формы в значении рыболовной снасти). В этом случае бывает трудно указать такую категорию, значения которой определяли бы выбор той или иной формы и мы условимся считать результатом синтеза все множество вариантов формы слова.

Второе требование к морфологической модели побуждает нас включить в состав грамматических категорий  $Z$  род и одушевленность, определяющие согласование существительного с другим словом в предложении.

Для формального описания грамматической категории воспользуемся буквенной переменной с областью определения, состоящей из всевозможных значений данной категории.  $Z$  представим в виде множества буквенных переменных  $z_1, z_2, \dots, z_m$ , каждая из которых отражает одну грамматическую категорию существительного.

Сделанные замечания позволяют сформулировать итоговую постановку задачи. Последняя сводится к формальному описанию функции  $L_f(x_0, x_1, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_k)$ , все аргументы которой — суть буквенные переменные. Функция  $L_f$  должна служить моделью словоизменения русских имен существительных субстантивного склонения.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Применение метода нуль-органа в лингвистике. — В кн: Проблемы бионики. Харьков, 1979, вып. 21, с. 109—112. 2. Зализняк А. А. Грамматический словарь русского языка. М. Русский язык, 1977. 880 с.

Поступила 26 марта 1979

УДК 801.55.001.57

Е. А. СОЛОВЬЕВА, канд. техн. наук, О. Т. БАНАРЬ

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГЕБРЫ КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЛАГОЛЬНЫХ ФОРМ

В работе делается попытка формально описать процессы обработки глагольных форм на языке алгебры конечных предикатов, предложенном Ю. П. Шабановым-Кушнарченко [1—3].

Предикативные глагольные формы характеризуются словоизменительными категориями — наклонения, времени, числа, лица и рода [4]. Например, глагольная форма *читал* имеет признаки изъявительного наклонения прошедшего времени единственного

числа мужского рода, а форма *вычислите* — признаки повелительного наклонения множественного числа 2-го рода.

Введем переменные:  $z_1$  — наклонение со значениями: и — изъявительное, п — повелительное;  $z_2$  — время со значениями: н — непрошедшее, п — прошедшее, б — нейтральное время;  $z_3$  — число со значениями: е — единственное, м — множественное;  $z_4$  — лицо со значениями: п — первое, в — второе, т — третье, б — нейтральное;  $z_5$  — род со значениями: м — мужской, ж — женский, с — средний, б — нейтральный.

Значения «б» переменных  $z_2, z_4, z_5$  введены в соответствии с грамматикой русского языка (например: «Родовые формы лишены показателей значения лица» [4, с. 366]; формы прошедшего времени не имеют показателей лица и являются неличными» [4, с. 362]) и вследствие того, что они позволяют значительно упростить запись большого числа уравнений, моделирующих процессы обгати глаголов.

Для рассмотренных переменных справедливы уравнения:

$$z_1^n \vee z_1^п; z_2^n \vee z_2^п \vee z_2^б; z_3^e \vee z_3^м; \\ z_4^п \vee z_4^в \vee z_4^т \vee z_4^б; z_5^м \vee z_5^ж \vee z_5^с \vee z_5^б.$$

Сочетаемость значений введенных переменных для глагольных форм расширенной парадигмы опишем уравнением

$$z_1^n (z_2^n (z_3^e \vee z_3^м) (z_4^п \vee z_4^в \vee z_4^т) z_5^б) \vee z_2^п z_4^б (z_3^e (z_5^м \vee z_5^ж \vee z_5^с) \vee \\ \vee z_3^м z_5^б) \vee z_1^п z_2^б z_5^б (z_3^м z_4^п \vee (z_3^e \vee z_3^м) z_4^в).$$

Введем форму слова  $Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_m \rangle$ , где  $y_1, y_2, \dots, y_m$  — соответственно 1, 2, ...,  $m$ -я буквы формы слова (принимаем  $m = 50$ ). Введем также основу слова  $\xi = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ , окончание  $E = \langle e_1, e_2, \dots, e_e \rangle$ , постфикс  $H = \langle h_1, h_2, \dots, h_t \rangle$ , частицу  $K = \langle k_1, k_2, \dots, k_k \rangle$ , префикс  $P = \langle p_1, p_2, \dots, p_p \rangle$ , суффикс  $S = \langle s_1, s_2, \dots, s_s \rangle$ , корень  $B = \langle b_1, b_2, \dots, b_r \rangle$ , в которых буквы морфов расположены в порядке возрастания их номеров. Число элементов в кортежах окончания, постфикса, частицы, префикса и суффикса выбираем в соответствии с нормами грамматики [4] настолько большим, чтобы в них можно было записать любой глагольный морф:  $e = 3$ ;  $t = 4$ ;  $k = 3$ ;  $p = 8$ ;  $s = 9$ ;  $n = m - 9 = 41$ ;  $r = n - 15 = 26$ . Форму, основу и другие морфы записываем, начиная с первой левой позиции, а позиции, оставшиеся неиспользованными, заполняем знаками пробела. Например, в окончании  $-ym$   $e_1 = y, e_2 = m, e_3 = \_$ ; в частице  $-ка$   $h_1 = -, h_2 = к, h_3 = а$ .

Перейдем к формальному описанию известных грамматических правил и выявленных в результате проведенных исследований закономерностей обработки глагольных форм. Слово (здесь и далее имеется в виду синтетическая глагольная форма расширенной

парадигмы) в 1-м лице единственного числа непрошедшего времени изъявительного наклонения оканчивается на  $\tilde{y}$ ,  $\tilde{ю}^*$ .

Постфикс *-ся (-сь)* не влияет на рассматриваемые в работе значения грамматических категорий, поэтому удобно ввести выражения:

$$A_1 = h_1^c h_2^a \vee h_1^- h_2^-; A_2 = h_1^c h_2^a \vee h_1^- h_2^-.$$

В уравнениях (1) — (3) учтены глаголы *есть*, *дать* и их производные, имеющие в формах единственного числа особые флексии 1-го лица  $\tilde{м}$ , 2-го лица  $\tilde{шь}$ , 3-го лица  $\tilde{ст}$ , которые присоединяются к гласной основе [4, с. 412]:

$$z_2^h z_3^e z_4^п = (e_1^y \vee e_1^ю \vee (b_1^d b_2^a \vee b_1^e) e_1^m) A_2. \quad (1)$$

Слово во 2-м лице единственного числа непрошедшего времени оканчивается на  $\tilde{ешь}$ ,  $\tilde{ишь}$ :

$$z_2^h z_3^e z_4^a = (e_1^e e_2^ш e_3^б \vee e_1^и e_2^ш e_3^б \vee (b_1^e \vee b_1^и b_2^a) e_1^ш e_2^б) A_1. \quad (2)$$

Слово в 3-м лице единственного числа непрошедшего времени оканчивается на  $\tilde{ет}$ ,  $\tilde{ит}$ :

$$z_2^h z_3^e z_4^т = (e_1^e e_2^т \vee e_1^и e_2^т \vee (b_1^e \vee b_1^и b_2^a) e_1^e e_2^т) A_1. \quad (3)$$

Слово в 1-м лице множественного числа непрошедшего времени оканчивается на  $\tilde{ем}$ ,  $\tilde{им}$ :

$$z_2^h z_3^m z_4^п = (e_1^e e_2^м \vee e_1^и e_2^м) A_1.$$

Слово во 2-м лице множественного числа непрошедшего времени оканчивается на  $\tilde{ете}$ ,  $\tilde{ите}$ :

$$z_2^h z_3^m z_4^a = (e_1^e e_2^т e_3^e \vee e_1^и e_2^т e_3^e) A_2.$$

Слово в 3-м лице множественного числа непрошедшего времени оканчивается на  $\tilde{ат}$ ,  $\tilde{ят}$ ,  $\tilde{ут}$ ,  $\tilde{ют}$ :

$$z_2^h z_3^m z_4^т = (e_1^a e_2^т \vee e_1^и e_2^т \vee e_1^y e_2^т \vee e_1^ю e_2^т) A_1.$$

Первая буква основы совпадает с  $c_{11-l}$ , вторая — с  $c_{12-l}$ , 1 т. д., последняя — с  $c_{10}$ , где  $l$  — длина основы, изменяющаяся в пределах от 1 до 10. Слово в мужском роде единственного числа прошедшего времени изъявительного наклонения имеет

\* Знак  $\sim$  введен для упрощения записи. Он означает, что имеется в виду не только проведенный признак, но и полученный из него приписыванием постфикса *-ся, (-сь)* за буквой, отмеченной сверху волнистой чертой. Например, в данном случае  $\tilde{y}$ ,  $\tilde{ю}$  обозначают формальные признаки *-у, -усь, -ю, -юсь*.

суффикс  $\tilde{l}$  или основу на  $\tilde{c}$ ,  $\tilde{з}$ ,  $\tilde{б}$ ,  $\tilde{n}$ ,  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{р}$ ,  $\tilde{к}$ ,  $\tilde{г}$  (кроме слова *ляг* и его производных) при нулевой флексии:

$$z_5^m = (S_1^{\tilde{n}} \vee C_{10}^{\tilde{c}} \vee C_{10}^{\tilde{з}} \vee C_{10}^{\tilde{б}} \vee C_{10}^{\tilde{n}} \vee C_{10}^{\tilde{x}} \vee C_{10}^{\tilde{р}} \vee C_{10}^{\tilde{к}} \vee \\ \vee C_8^{-\tilde{l}} C_9^{-\tilde{n}} C_{10}^{-\tilde{г}}) \tilde{l}_1^{-} A_1.$$

Слово в женском роде единственного числа прошедшего времени изъявительного наклонения имеет суффикс  $\tilde{l}$  с флексией  $\tilde{а}$ :

$$z_5^{\tilde{ж}} = S_1^{\tilde{n}} \tilde{e}_1^{\tilde{а}} A_2.$$

Слово в среднем роде единственного числа прошедшего времени изъявительного наклонения имеет суффикс  $\tilde{l}$  с флексией  $\tilde{о}$ :

$$z_5^{\tilde{о}} = S_1^{\tilde{n}} \tilde{e}_1^{\tilde{о}} A_2.$$

Слово прошедшего времени изъявительного наклонения во множественном числе имеет суффикс  $\tilde{l}$  с флексией  $\tilde{у}$ :

$$z_2^{\tilde{n}} z_3^{\tilde{м}} = S_1^{\tilde{n}} \tilde{e}_1^{\tilde{у}} A_2.$$

Слово в 1-м лице множественного числа повелительного наклонения оканчивается на  $\tilde{итс}$ ,  $\tilde{ем-ка}$ ,  $\tilde{им-ка}$ ,  $\tilde{ите-ка}$ :

$$z_1^{\tilde{n}} z_3^{\tilde{м}} z_4^{\tilde{n}} = \tilde{e}_1^{\tilde{м}} \tilde{h}_1^{\tilde{т}} \tilde{h}_2^{\tilde{с}} A_3 \vee ((\tilde{e}_1^{\tilde{е}} \tilde{e}_2^{\tilde{м}} \vee \tilde{e}_1^{\tilde{н}} \tilde{e}_2^{\tilde{м}}) A_1 \vee \tilde{e}_1^{\tilde{м}} \tilde{h}_1^{\tilde{т}} \tilde{h}_2^{\tilde{с}} A_3) \tilde{k}_1^{-} \tilde{k}_2^{\tilde{ж}} \tilde{k}_3^{\tilde{а}},$$

где

$$A_3 = \tilde{h}_3^{\tilde{с}} \tilde{h}_4^{\tilde{а}} \vee \tilde{h}_3^{\tilde{м}} \tilde{h}_4^{-}.$$

Во 2-м лице единственного числа повелительного наклонения слово оканчивается на  $\tilde{у}^*$  или основа оканчивается на  $\tilde{б}$  (с нулевой флексией),  $\tilde{у}$  или  $\tilde{ляг}$ :

$$z_1^{\tilde{n}} z_3^{\tilde{е}} z_4^{\tilde{а}} = ((\tilde{e}_1^{\tilde{н}} \vee C_{10}^{\tilde{б}} \tilde{e}_1^{-} \vee C_{10}^{\tilde{а}}) A_1 \vee C_8^{\tilde{n}} C_9^{\tilde{ж}} C_{10}^{\tilde{р}} A_1) A_4,$$

где

$$A_4 = \tilde{k}_1^{-} \tilde{k}_2^{\tilde{ж}} \tilde{k}_3^{\tilde{а}} \vee \tilde{k}_1^{-} \tilde{k}_2^{-} \tilde{k}_3^{-}.$$

Слово стоит во 2-м лице множественного числа повелительного наклонения, если оно имеет постфикс  $\tilde{те}$  и 2-я буква флексии не  $\tilde{м}$ :

$$z_1^{\tilde{n}} z_3^{\tilde{м}} z_4^{\tilde{а}} = \tilde{l}_2^{\tilde{м}} \tilde{h}_1^{\tilde{т}} \tilde{h}_2^{\tilde{с}} A_4.$$

Приведенные уравнения описывают автоматическую классификацию глагольных форм. Процессы выделения основ, окончаний

\* Признак  $\tilde{у}$  означает  $\tilde{у}$ ,  $\tilde{у-ка}$  или  $\tilde{у}$ ,  $\tilde{ись}$ ,  $\tilde{у-ка}$ ,  $\tilde{ись-ка}$ .

и других морфов моделируются на базе информации, полученной в работе [5]. Полученные уравнения описывают ряд соотношений между грамматическими и формальными признаками глагольных форм при условии, что структура слов известна. Информация о структуре слова облегчает описание (например, если буква  $л$  перед окончанием  $-и$  является в слове суффиксом, то оно относится к изъявительному наклонению, если же частью основы — к повелительному), но эта информация должна содержаться в других уравнениях. Для определения структуры словоформы необходимы уравнения, связывающие формальные признаки (буквы) и их роли в слове (окончание, суффикс и т. д.), а также уравнения для формирования морфов. Приведем примеры таких уравнений.

Основа слова по крайней мере не короче формы слова:

$$Y_i^- \supset X_i^- . \quad (4)$$

Форма слова не более, чем на 9 букв длиннее основы слова:

$$X_i^- \supset Y_{i+9}^- . \quad (5)$$

Последняя буква основы совпадает с  $C_{10}$  предпоследняя — с  $C_9$ , ..., 1-я — с  $C_{11-l}$ :

$$\overline{X_i^-} X_{i+1}^- = \bigwedge_{j=1}^{l-1} (X_{l-j+1} = C_{10-j+1}) \bigwedge_{j=1}^{10-l} C_j^- \bigwedge_{j=l+1}^{50} X_j^- . \quad (6)$$

Последняя отличная от пробела буква машинной словоформы, совпадающая с  $y$ ,  $ю$ ,  $a$ ,  $o$ ,  $и$  является 1-й буквой окончания:

$$y_i^- (y_{i-1}^y \vee y_{i-1}^o \vee y_{i-1}^a \vee y_{i-1}^o \vee y_{i-1}^и) = (y_{i-1} = e_1) e_2^- e_3^- . \quad (7)$$

Две последние буквы слова:  $им$  или последняя  $m$  и предпоследняя  $y$ ,  $ю$ ,  $a$ ,  $я$ ,  $e$  или  $и$  — являются его окончанием:

$$y_i^- (y_{i-2}^y \vee y_{i-2}^o \vee y_{i-2}^a \vee y_{i-2}^e \vee y_{i-2}^и) y_{i-1}^т \vee y_{i-2}^и y_{i-1}^м) = \\ = (y_{i-2} = e_1) (y_{i-1} = e_2) e_3^- . \quad (8)$$

Три последние отличные от пробела буквы словоформы, совпадающие с  $-ете$ ,  $-ишь$ , образуют окончания:

$$y_i^- (y_{i-3}^e y_{i-2}^т y_{i-1}^е \vee y_{i-3}^и y_{i-2}^ш y_{i-1}^ь) = \\ = (y_{i-3} = e_1) (y_{i-2} = e_2) \wedge (y_{i-1} = e_3) . \quad (9)$$

Две последние отличные от пробела буквы слова  $-ся$  или  $-т$  образуют постфикс:

$$y_i^- (y_{i-2}^o y_{i-1}^т \vee y_{i-2}^т y_{i-1}^e) = (h_1 = y_{i-2}) (h_2 = y_{i-1}) h_3^- h_4^- . \quad (10)$$

Три последние отличные от пробела символы машинной словоформы  $ка$  образуют частицу  $-ка$ :

$$y_{i-3}^- y_{i-2}^к y_{i-1}^а = k_1^- k_2^к k_3^а . \quad (11)$$

Четыре последние отличные от пробела буквы слова *-теть* образуют постфикс:

$$y_i (y_{i-4}^t y_{i-3}^e y_{i-2}^b y_{i-1}^b) = h_1^t h_2^e h_3^b h_4^b. \quad (12)$$

В словах, оканчивающихся на *-ка*, стоящие перед *-ка* буквы *те* и *ся* образуют постфикс:

$$\begin{aligned} \bar{y}_i \bar{y}_{i-3}^k \bar{y}_{i-2}^a \bar{y}_{i-1}^a (y_{i-5}^t y_{i-4}^e \vee y_{i-5}^e y_{i-4}^a) = \\ = (h_1 = y_{i-5}) (h_2 = y_{i-4}) h_3^k h_4^a. \end{aligned} \quad (13)$$

В словах, оканчивающихся на *-л*, или на *-лся*, *л* образует суффикс:

$$y_{i-3}^l (y_{i-2}^l \vee y_{i-2}^e y_{i-1}^a) y_i^- = S_1^l, S_2^l, \dots, S_9^l. \quad (14)$$

Буква *л* образует суффикс в словах, оканчивающихся на *-ла*, *-ло*, *-лась*, *-лось*:

$$\begin{aligned} \bar{y}_i (\bar{y}_{i-2}^l (\bar{y}_{i-1}^a \vee \bar{y}_{i-1}^o) \vee y_{i-4}^l (y_{i-3}^a \vee y_{i-3}^o) y_{i-2}^e y_{i-1}^b) = \\ = S_1^l, S_2^l, S_3^l, \dots, S_9^l. \end{aligned} \quad (15)$$

Для формализации процессов обработки омографичных словоформ необходима дополнительная информация, которая для глагольных форм получена в работе [5]. Запишем примеры уравнений, учитывающих полную и частичную омографию.

В словах *трусь* и *вытрусь* *-сь* может быть постфиксом или частью основы:

$$\begin{aligned} (\bar{y}_{i-6}^- \vee \bar{y}_{i-8} y_{i-7}^a y_{i-6}^m) y_{i-5}^t y_{i-4}^y y_{i-3}^e y_{i-2}^b y_{i-1}^y = \\ = h_1^e h_2^b h_3^y h_4^y \vee C_9^e C_{10}^b. \end{aligned} \quad (16)$$

В словах *завись*, *обезопась*, *гундось*, *тулумбась*, *чудесь*, *торось*, *весь*, *высь*, *брось*, *квась*, *крась* и их производных две последние буквы *сь* являются частью основы:

$$\begin{aligned} \bar{y}_i \bar{y}_{i-2}^b \bar{y}_{i-1}^e (y_{i-6}^a y_{i-5}^a y_{i-4}^b y_{i-2}^m \vee y_{i-9}^o y_{i-8}^e y_{i-7}^b y_{i-6}^o y_{i-5}^o \wedge \\ \wedge y_{i-4}^y y_{i-3}^a \vee y_{i-7}^y y_{i-6}^y y_{i-5}^y y_{i-4}^y y_{i-3}^o \vee y_{i-9}^y y_{i-8}^y y_{i-7}^y y_{i-6}^y y_{i-5}^y \wedge \\ \wedge y_{i-4}^y y_{i-3}^a \vee y_{i-6}^y y_{i-5}^y y_{i-4}^y y_{i-3}^e \vee y_{i-6}^y y_{i-5}^y y_{i-4}^y y_{i-3}^o \vee \\ \vee y_{i-4}^y y_{i-3}^e \vee y_{i-4}^y y_{i-3}^m \vee y_{i-5}^y y_{i-4}^y y_{i-3}^o \vee y_{i-5}^y y_{i-4}^y y_{i-3}^a \vee \\ \vee y_{i-5}^y y_{i-4}^y y_{i-3}^o) \supset C_9^e C_{10}^b. \end{aligned} \quad (17)$$

В уравнениях (4)–(17) *i* меняется от 3 до 50, *l* — от 1 до 10. Остальные уравнения имеют аналогичный вид и получены на основании исследований в области процессов классификации [4, 5] и синтеза глагольных форм.

С помощью методики Ю. П. Шабанова-Кушнаренко разработан алгоритм решения таких уравнений, который реализуется на ЭЦВМ.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. О теории интеллекта.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 22, с. 15—22. 2. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Об алгебре конечных предикатов.— В кн.: АСУ и приборы автоматики. Харьков, 1977, вып. 52, с. 21—28. 3. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Математическая модель склонения полных непряжательных имен прилагательных. Сб. трудов / Науч.-техн. информация. Серия 2, М., ВИНТИ, 1978, № 10, с. 20—25. 4. Грамматика современного русского литературного языка. М., Наука, 1970. 767 с. 5. Соловьева Е. А. Исследование и моделирование процессов морфологического классифицирования глагольных форм. Сб. трудов / Науч.-техн. информация. Серия 2, М., ВИНТИ, 1976, № 8, с. 34—38.

Поступила 1 апреля 1978 г.

УДК 510.62

Е. А. СОЛОВЬЕВА, канд. техн. наук, О. А. ЖУКОВ

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГРАММАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЛАГОЛОВ ТИПА 13

В работе исследуются процессы грамматической обработки глагольных форм русского языка и строится их действующая модель с применением алгебры конечных предикатов Ю. П. Шабанова-Кушнаренко [1—4].

Рассмотрим морфологическое отношение  $L(X, Y, Z)$ , где  $X$  — основная форма слова,  $Y$  — словоформа,  $Z$  — набор грамматических признаков.  $L(X, Y, Z) = 1$ , если форма  $Y$  образована от исходной формы  $X$  и признаков в соответствии с нормами грамматики и  $L(X, Y, Z) = 0$  — в противном случае. Например,  $L(\text{читать}, \text{читаю}, \text{наст. время, ед. число} \dots \text{1-е лицо}) = 1$ , а  $L(\text{читать}, \text{читал}, \text{наст. время, ед. число} \dots \text{1-е лицо}) = 0$ .

Для автоматической обработки словоформ целесообразно построить модель отношения  $L$  в виде системы уравнений 1, 2, ...,  $n$  алгебры конечных предикатов. Применяя действующую программную реализацию решения уравнений, получим, в зависимости от исходных данных, решение задачи автоматического анализа ( $Y \rightarrow Z$ ), синтеза ( $X \rightarrow Z \rightarrow Y$ ), нормализации ( $Y \rightarrow X$ ) и др. Построим модель на основании работ [5, 6].

Математическое описание отдельных фрагментов обработки прилагательных и глаголов рассмотрено в статьях [7, 8]. В данной работе предложена модель морфологического отношения на примере глаголов 13-го типа. Известно [5], что к таким глаголам относятся глаголы *давать* (и производные) и глаголы на *знавать*, *оставать*. Тип спряжения выбран произвольно, однако он отражает основные закономерности обработки глагольных форм.

Введем форму слова  $Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_n \rangle$ , где  $y_1, y_2, \dots, y_n$  соответственно 1, 2, ...,  $n$ -я буквы словоформы;  $n = 30$  достаточно для размещения любой глагольной формы. Введем основную (каноническую) форму слова  $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_{20} \rangle$ , окончание  $E = \langle e_1, e_2, \dots, e_{10} \rangle$ , приставку  $P = \langle p_1, p_2, \dots, p_{10} \rangle$ , корень  $B = \langle b_1, b_2, b_3 \rangle$ . Переменные  $y_i, x_i, e_i, p_i, b_i$  принимаем

значения из алфавита, состоящего из всех русских букв и знаков: пробела — «□», ударения — «/», дефиса — «—».

Под окончанием, следуя А. А. Зализняку [5], понимаем последние буквы слова, независимо от его членения на морфемы. Для выделения флексии, суффикса и постфикса достаточно добавить ряд уравнений.

Таблица 1

В табл. 1 приведены категории и значения глагольных форм и их обозначения в виде переменных  $z_i$  из  $Z$ .

Через  $z_{11}$  обозначим признак типа спряжения.  $z_{11}$  принимает значение 1, если слово относится к 1-му типу спряжения, 2 — к 2-му, ..., 16 — к 16-му, 17 — если слово не является глаголом. Признак архаичности  $z_{12}$  введен для различения параллельных форм деепричастий на  $b$  (современная  $c$ ) и  $вши$  (архаичная  $a$ ), а признак экспрессивности  $z_{13}$  — для различных форм повелительного наклонения с частицей  $ка$  ( $z_{13} = д$ ) и без нее ( $z_{13} = н$ ). Изменение причастий по признакам прилагательных целесообразно рассматривать при описании морфологического разряда прилагательных [7].

Введем вспомогательные переменные  $T = \langle t_1, t_2, t_3 \rangle$ , которые позволяют упростить описание. Через  $t_1$  обозначим признак

Грамматическая категория	Переменная	Грамматическое значение	Значение переменной
Наклонение	$z_1$	Изъявительное	и
		Повелительное	п
		Сослагательное	с
Время	$z_2$	Настоящее	н
		Прошедшее	п
Число	$z_3$	Будущее	б
		Единственное	е
Лицо	$z_4$	Множественное	м
		Первое	п
Род	$z_5$	Второе	в
		Третье	т
Вид	$z_6$	Мужской	м
		Женский	ж
Репрезентация	$z_7$	Средний	с
		Совершенный	с
Залог	$z_8$	Несовершенный	н
		Деепричастие	д
Возвратность	$z_9$	Инфинитив	и
		Личная форма	л
Переходность	$z_{10}$	Причастие	п
		Действительный	д
		Страдательный	с
		Возвратная (форма)	в
		Невозвратная (форма)	н
		Переходный	п
		Непереходный	н

ударения со значениями  $y$ , если знак ударения присутствует в словоформах и  $б$  — в противном случае. Рассмотрим наиболее часто встречающийся на практике случай, когда словоформы поступают на обработку без знака ударения, т. е.

$t_1^6$ .

(1)

Для случая  $t_1 = y$  система уравнений строится аналогичным образом. Признак формы  $t_2$  принимает значения  $c$  (синтетическая) и  $a$  (аналитическая) и признак основы  $t_3$  — значения  $n$  (полная) и  $k$  (краткая).

Проведенные исследования позволили разбить глаголы 13-го типа на 5 подтипов. Введем словарный признак  $s$  со значениями 1, если слово принадлежит к 1-му подтипу глаголов 13-го типа 2 — ко 2-му, ..., 5 — к 5-му, 6 — если слово не входит в 13-й тип. В табл. 2 приведены основные формы (в данном случае — невозвратные инфинитивы) глаголов 13-го типа.

Т а б л и ц а 2

$i$	$s_i$
1	Наставать, переставать, преставать, приставать, недоставать, отставать, уставать, вставать, привставать, представать, восставать, приотставать, приуставать
2	Повставать
3	Наподдавать, передавать
4	Давать, задавать, облавать, наддавать, поддавать, предавать, раздавать, издавать, переиздавать, воздавать, создавать, пересоздавать, воссоздавать, придавать, додавать, недодавать, подавать, преподавать, продавать, запрашивать, перепродавать, допродавать, распродавать, сдавать, пересдавать, отдавать, выдавать, признавать, познавать, прознавать, вызнать, опознавать, распознавать, сознать, осознать, узнать, предзнавать, разузнавать, заставить, отставать, доставать
5	Надавать, насдавать

Для каждой переменной  $z_i$ ,  $t_j$ ,  $s$  справедливы уравнения (1)–(17), характеризующие ее область определения, например

$$z_7^n \vee z_7^r \vee z_7^d \vee z_7^d. \quad (8)$$

Связь вспомогательных переменных с основными выразим уравнениями (18)–(25), например, в аналитической форме из двух слов, разделенных одним пробелом:

$$\overline{y_1} \overline{y_2} \dots \overline{y_i} \overline{y_{i+1}} \overline{y_{i+2}} \dots \overline{y_i} \overline{y_{i+1}} \overline{y_{i+2}} = t_2^a \quad (i = \overline{4,15}; j = \overline{i+3,22}) \quad (20)$$

или в синтетической форме из одного слова:

$$\overline{y_1} \overline{y_2} \dots \overline{y_i} \overline{y_{i+1}} \overline{y_{i+2}} = t_2^c \quad (i = \overline{3,17}). \quad (21)$$

Уравнение сочетаемости значений позволяет из множества комбинаций значений введенных переменных удалить запрещенные

$$\begin{aligned} & t_2^c (z_1^n (t_3^k (z_8^n z_8^d (z_6^n z_2^n (s^1 \vee s^3 \vee s^4) \vee z_6^c \wedge \\ & \wedge z_2^c (s^2 \vee s^3 \vee s^5)) \vee z_8^c z_6^n z_2^n z_4^r z_9^b (s^1 \vee s^3 \vee s^4) \vee \\ & \vee z_9^b z_2^n (s^1 \vee s^3 \vee s^4) \vee t_3^n z_2^n z_{11}^{13}) \vee z_1^n z_8^d \wedge z_4^n z_3^n z_{11}^{13}) \vee \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \vee z_7^{\#} t_{32}^{\#} z_{11}^{13} \vee z_7^{\#} t_{32}^{\#} z_6^{\#} z_2^{\#} z_8^{\#} \wedge (s^1 \vee s^3 \vee s^4) \vee \\ & \vee z_7^{\#} z_8^{\#} ((s^1 \vee s^3 \vee s^4) z_6^{\#} z_2^{\#} \vee z_2^{\#} \wedge z_{11}^{13}) t_3^{\#} \vee \\ & \vee t_2^{\#} z_7^{\#} t_3^{\#} (z_6^{\#} (s^1 \vee s^3 \vee s^4) z_2^{\#} z_1^{\#} \vee z_7^{\#} z_{11}^{13}). \end{aligned} \quad (26)$$

Словоформу, основную форму, приставку, корень и окончание записываем, начиная с первой левой позиции, а позиции, оставшиеся неиспользованными, заполняем знаками пробела. Например, для формы читаю:  $y_1 = \text{ч}$ ;  $y_2 = \text{и}$ ;  $y_3 = \text{т}$ ;  $y_4 = \text{а}$ ;  $y_5 = \text{ю}$ ;  $y_6 = \text{ } \square$ , ...,  $y_{30} = \text{ } \square$ . Заполнение неиспользованных позиций пробелами достигается с помощью уравнений (27)—(30):

$$\bar{y}_i \bar{y}_{i+1} = \bar{y}_i \bar{y}_{i+1} \dots \bar{y}_{30}, \quad (i = \overline{4, 23}). \quad (28)$$

Введем вспомогательные переменные  $\Gamma = \langle \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{15} \rangle$ ,  $\Omega = \langle \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{15} \rangle$ , которые упростят выделение глаголов 13-го типа из любых словоформ. В глаголах 13-го типа сочетания букв да, ста, зна образуют корень, а все буквы, стоящие перед ними — приставку (в синтетической форме и сослагательном наклонении), например:

$$\begin{aligned} & y_i^{\#} y_{i+1}^{\#} \bar{y}_i \bar{y}_{i+1} (t_2^{\#} \vee y_{i+2}^{\#} y_{i+3}^{\#} y_{i+4}^{\#} t_2^{\#}) = (p_1 = y_1) \dots (p_{i-1} = \\ & = y_{i-1}) p_i^{\#} b_1^{\#} b_2^{\#} b_3^{\#} (\gamma_1 = y_{i+2}) \wedge \dots \wedge (\gamma_{i-i-1} = y_i) \bar{\gamma}_{i-i}, \\ & \quad (i = \overline{2, 8}; \quad j = \overline{i+2, 17}); \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} & x_i^{\#} x_{i+1}^{\#} \bar{x}_i \bar{x}_{i+1} = (p_1 = x_1) \dots (p_{i-1} = x_{i-1}) p_i^{\#} \wedge (\omega_1 = \\ & = x_{i+2}) \dots (\omega_{i-i-1} = x_i) \bar{\omega}_{i-i}, \quad (i = \overline{2, 8}; \quad j = \overline{i+2, 13}). \end{aligned} \quad (34)$$

Уравнение выделения глаголов 5-го подтипа 13-го типа имеет вид:

$$\begin{aligned} & s^5 = p_1^{\#} p_2^{\#} (p_3^{\#} \vee p_3^{\#} p_4^{\#}) b_1^{\#} b_2^{\#} b_3^{\#} (\gamma_1^{\#} \gamma_2^{\#} (\gamma_3^{\#} ((\gamma_4^{\#} \vee \gamma_4^{\#} \gamma_5^{\#} \gamma_6^{\#} \gamma_7^{\#}) \vee \\ & \vee \gamma_4^{\#} \gamma_5^{\#} (\gamma_6^{\#} \vee \gamma_6^{\#} \gamma_7^{\#} \gamma_8^{\#} \gamma_9^{\#}) \vee \gamma_4^{\#} \gamma_5^{\#} (\gamma_6^{\#} \vee \gamma_6^{\#} \gamma_7^{\#} \gamma_8^{\#} \gamma_9^{\#} \vee \gamma_6^{\#} \gamma_7^{\#} (\gamma_8^{\#} \vee \\ & \vee \gamma_8^{\#} \gamma_9^{\#} \gamma_{10}^{\#} \gamma_{11}^{\#})) \vee \gamma_3^{\#} (\gamma_4^{\#} \vee \gamma_4^{\#} \gamma_5^{\#} \gamma_6^{\#} \vee (\gamma_4^{\#} \vee \gamma_4^{\#} \vee \gamma_4^{\#}) \times \\ & \times (\gamma_5^{\#} \vee \gamma_5^{\#} \gamma_6^{\#} \gamma_7^{\#})) \vee \gamma_3^{\#} (\gamma_4^{\#} \vee \gamma_4^{\#} \gamma_5^{\#} (\gamma_6^{\#} \vee \gamma_6^{\#} \gamma_7^{\#} \gamma_8^{\#} \vee \\ & \vee \gamma_6^{\#} (\gamma_7^{\#} \vee \gamma_7^{\#} \gamma_8^{\#} \gamma_9^{\#}))) \vee \gamma_1^{\#} (\gamma_2^{\#} \vee \gamma_2^{\#} \gamma_3^{\#}) \vee \gamma_1^{\#} (\gamma_2^{\#} \gamma_5^{\#} \gamma_4^{\#} \vee \gamma_2^{\#} \gamma_3^{\#} \vee \\ & \vee \gamma_2^{\#} (\gamma_3^{\#} \vee \gamma_3^{\#} \gamma_4^{\#})) \vee \gamma_1^{\#} \gamma_2^{\#} \gamma_3^{\#} \gamma_4^{\#} (\gamma_5^{\#} \vee \gamma_5^{\#} \gamma_6^{\#} \gamma_7^{\#}) \vee \\ & \vee \omega_1^{\#} \omega_2^{\#} \omega_3^{\#} \omega_6^{\#} (\omega_5^{\#} \vee \omega_5^{\#} \omega_6^{\#} \omega_7^{\#}). \end{aligned} \quad (43)$$

Уравнения (39)—(42) для выделения глаголов других подтипов 13-го типа выглядят аналогично.

Уравнения (44)—(91) связывают формальные признаки синтетической словоформы и формы сослагательного наклонения с грамматическими категориями. Например, глагол 13-го типа в синте-

тической форме, оканчивающейся на *ю*, характеризуется признаками *ед. числа 1-го лица, невозвратности* и др.:

$$t_2^c y_i^{\text{ю}} \bar{y}_{i+1} = t_3^k z_1^{\text{н}} z_7^{\text{л}} z_8^{\text{л}} z_9^{\text{н}} (z_6^{\text{н}} z_2^{\text{н}} (s^1 \vee s^3 \vee s^4) \vee \vee z_2^6 z_6^c (s^2 \vee s^3 \vee s^5)) z_3^e z_4^{\text{н}}, \quad (i = \overline{3,10}); \quad (144)$$

сослагательное наклонение состоит из частицы *бы* и формы прошедшего времени:

$$t_2^a y_i^{\text{л}} \bar{y}_{i+1} y_{i+2}^6 y_{i+3}^{\text{н}} \bar{y}_{i+4} = t_3^{\text{н}} z_7^{\text{л}} z_1^c (z_6^{\text{н}} (s^1 \vee s^3 \vee s^4) \vee \vee (s^2 \vee s^3 \vee s^5) z_6^c) z_4^e z_5^{\text{н}} z_9^{\text{н}}, \quad (i = \overline{4,12}). \quad (183)$$

Уравнения (92)—(136) описывают отношение между грамматическими категориями и окончаниями. Например, невозвратный глагол 13-го типа в настоящем времени, единственном числе, втором лице, характеризующийся рядом дополнительных признаков, имеет окончание *ѣшь*:

$$t_3^k z_1^{\text{н}} z_7^{\text{л}} z_8^{\text{л}} z_9^{\text{н}} (z_6^{\text{н}} z_2^{\text{н}} (s^1 \vee s^3 \vee s^4) \vee z_2^6 z_6^c (s^2 \vee s^3 \vee s^5)) \times \times t_2^e z_3^e z_4^{\text{н}} = e_1^{\text{ѣ}} e_2^{\text{ш}} e_3^{\text{ѣ}} e_4^{\text{ѣ}} e_5^{\text{ѣ}}. \quad (104)$$

Инфинитив глаголов в синтетической форме и сослагательном наклонении образуется отбрасыванием окончания и присоединением *ть* (*тбся*) или *вать* (*ватбся*), например:

$$\bar{y}_i \bar{y}_{i+1} \bar{y}_{i+2} e_j \bar{e}_{i+1} \bar{e}_{i+2} t_3^{\text{н}} z_{11}^{13} (t_2^c \vee z_1^c) = (x_1 = y_1) \dots (x_{i-1} = y_{i-1}) x_{i-1}^{\text{т}} x_{i-1+1}^{\text{ѣ}} x_{i-1+2}^{\text{ѣ}} \wedge (x_{i-1+3}^{\text{н}} \vee x_{i-1+3}^{\text{н}} x_{i-1+4}^{\text{н}} x_{i-1+5}^{\text{н}} z_9^{\text{н}}), \quad (i = \overline{3,17}; \quad j = \overline{1,8}). \quad (137)$$

Синтетическая форма и сослагательное наклонение образуется отбрасыванием сочетаний *ть* (*тбся*) или *вать* (*ватбся*) и присоединением окончания, например:

$$x_i^{\text{ѣ}} x_{i+1}^{\text{ѣ}} (t_2^c \vee z_1^c) t_3^{\text{н}} z_{11}^{13} = (y_1 = x_1) \wedge \dots \wedge (y_{i-2} = x_{i-2}) (y_{i-1} = e_1) \dots (y_{i+8} = e_{10}), \quad (i = \overline{6,13}). \quad (139)$$

Второе слово глагола несовершенного вида будущего времени совпадает с инфинитивом:

$$t_2^a y_i^{\text{ѣ}} y_{i+1}^{\text{ѣ}} \bar{y}_{i+2} \bar{y}_{i+3} \bar{y}_{i+4} \bar{y}_{i+5} = (x_1 = y_{i+2}) \wedge \dots \wedge (x_{i-i-1} = y_i) x_{i-1}^{\text{ѣ}} (s^1 \vee s^3 \vee s^4) z_6^{\text{н}} z_2^6 z_7^{\text{л}}, \quad (i = \overline{4,6}; \quad j = \overline{11,20}). \quad (143)$$

Формы будущего времени глаголов несовершенного вида анализируются с помощью формул (144)—(155), аналогичных

$$z_2^6 y_4^{\text{ѣ}} y_5^{\text{ѣ}} \bar{y}_{i+1}^{\text{ѣ}} = t_3^a z_1^{\text{н}} z_7^{\text{л}} \wedge \wedge t_3^{\text{н}} (s^1 \vee s^3 \vee s^4) z_3^e z_4^{\text{н}} z_9^{\text{н}}, \quad (i = \overline{11,20}). \quad (147)$$

Уравнения (156)—(161) связывают грамматические признаки форм будущего времени глаголов несовершенного вида и окончания слова *быть*, например:

$$z_1^h z_2^6 z_6^h z_7^h (s^1 \vee s^3 \vee s^4) z_3^e z_4^t = e_1^o e_2^t e_3^- e_4^- . \quad (160)$$

Будущее время у глаголов несовершенного вида образуется присоединением к основе *буд* окончания (первое слово), второе слово образуется от инфинитива:

$$\begin{aligned} x_1^h x_{i+1}^- e_j^- e_{j+1}^- e_{j+2}^- t_2^a z_9^h (s^1 \vee s^3 \vee s^4) z_6^h z_2^6 &= y_1^6 y_2^y y_3^h (y_4 = \\ &= e_1) \dots (y_{3+i} = e_i y_{4+i}^- \wedge (y_{5+i} = \\ &= x_i) \dots (y_{4+i+i} = x_i) y_{5+i+i}^- , \quad (i = \overline{6,13}; \quad j = \overline{1,3}). \end{aligned} \quad (162)$$

Группы уравнений (137)—(155) и (162)—(165) описывают соответствие между основной формой глагола и его инфинитивом и еобходимы при синтезе и нормализации.

При решении задачи анализа используются уравнения: (44)—(91), (144)—(155); синтеза (92)—(136), (139)—(142), (156)—(165); нормализации (44)—(138), (143).

Разработанное математическое описание содержит 167 уравнений и является одним из вариантов модели грамматической обработки глаголов 13-го типа. Проводятся экспериментальные исследования различных вариантов модели на ЭВМ. Результаты исследований свидетельствуют о безошибочном действии модели.

Предложенная система уравнений позволяет выделить глагольные словоформы 13-го типа из словоформ русского языка, решить задачи их анализа, синтеза и нормализации, а также определения приставки, корня и ряд других. Полученная модель отражает специфику, основные закономерности обработки глагольных форм и используется при построении общей модели обработки глаголов и других частей речи.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О теории интеллекта.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 22, с. 15—22. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об алгебре конечных предикатов.— В кн.: АСУ и приборы автоматки. Харьков, 1977, вып. 52, с. 21—28. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об алгебре предикатов с отрицанием.— В кн.: АСУ и приборы автоматки. Харьков, 1977, вып. 52, с. 42—49. 4. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Об уравнениях теории интеллекта.— В кн.: АСУ и приборы автоматки. Харьков, 1977, вып. 53, с. 63—70. 5. Зализняк А. А. Грамматический словарь русского языка (словоизменение). М., Наука, 1977. 749 с. 6. Грамматика русского языка, т. 1 /Под ред. В. В. Виноградова и др. М., АН СССР, 1960. 719 с. 7. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Математическая модель склонения полных неприятиятельных имен прилагательных. Сб. трудов /Науч.-техн. информация. Серия 2, М., ВИНТИ, 1979. 8. Соловьева Е. А. Исследование и моделирование процессов морфологического классифицирования глагольных форм. Сб. трудов /Науч.-техн. информация. Серия 2, М., ВИНТИ, 1976, № 8, с. 34—38.

Поступила 20 марта 1979 г.

В. А. БЛАГИНА, З. В. ДИМА, З. Ю. ШАБАНОВА-КУШНАРЕНКО

### О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА СКЛОНЕНИЯ КРАТКИХ И ПРИТЯЖАТЕЛЬНЫХ ИМЕН ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ

Создание действующей математической модели естественноязыка весьма сложный и многоплановый процесс. Составной частью модели является формальное описание словоизменения различных частей речи, в частности имени прилагательного.

В работе [1] предлагается математическая модель процесса склонения относительных имен прилагательных, а также полных форм качественных. В данной статье средствами теории интеллекта [1—3] математически описывается процесс склонения притяжательных прилагательных, а также кратких форм и простой сравнительной степени качественных имен прилагательных.

Склонение рассматриваемых групп прилагательных сводится к формированию трехбуквенных окончаний  $Z = z_1z_2z_3$  формы слова  $X$  в зависимости от набора грамматических признаков  $Y$ . Символы  $z_1, z_2, z_3$  обозначают соответственно первую, вторую и третью букву окончания [1]. При отсутствии какой-либо буквы окончания ставится символ  $\_$  — знак пробела. Например, прилагательному *красив* соответствует окончание  $\_|\_|\_$ , прилагательному *лисью* — окончание  $ю|\_|\_$ .

Традиционная грамматика русского языка выделяет четыре типа склонения притяжательных прилагательных [4, 5]. При математическом описании процесса склонения возникла необходимость разделения первого типа склонения на два различных. Таким образом, в данной работе притяжательные прилагательные делятся на пять типов склонения.

Для притяжательных прилагательных влияние слова  $X$  на окончание может быть однозначно охарактеризовано тремя признаками ( $x_1, x_4, x_5$ ), где  $x_1$  — признак последней буквы основы слова со значениями  $б'', в'', в', ж, з'', л'', м'', н'', н', п'', р'', с'', т'', ч''$  ш;  $x_4$  — признак производности основы со значениями  $n$  — производная основа,  $n$  — непроизводная основа слова;  $x_5$  — признак ударности последнего слога основы со значениями  $y$  — ударный,  $b$  — безударный (соседкин, утиный). Знаки типа  $n'$  означают твердую букву основы,  $n''$  — мягкую букву основы.

Для кратких форм и сравнительной степени качественных прилагательных это влияние может однозначно характеризоваться набором признаков ( $x_1, x_2, x_3$ ), где  $x_1$  — признак последней буквы основы слова со значениями  $б, в, г, д, е, ж, з, к, л, м, н', н'', п, р, с, т, у, ф, х, ц, ч, ш, щ$ ;  $x_2$  — признак ударности основы слова со значениями  $y$  — ударная,  $b$  — безударная;  $x_3$  — признак согласной, стоящей перед последней буквой основы слова, с

значениями *б, в, г, д, ж, з, к, л, м, н, п, р, с, т, ф, х, ц, ч, ш, щ*.

Влияние текста *У* на окончание *Z* для притяжательных имен прилагательных может быть однозначно охарактеризовано набором признаков (*y*<sub>1</sub>, *y*<sub>2</sub>, *y*<sub>3</sub>, *y*<sub>4</sub>, *y*<sub>5</sub>), где *y*<sub>1</sub> — признак падежа со значениями *и* — именительный, *р* — родительный, *д* — дательный, *з* — винительный, *т* — творительный, *п* — предложный; *y*<sub>2</sub> — признак рода со значениями *м* — мужской, *ж* — женский, *с* — средний; *y*<sub>3</sub> — признак числа со значениями *е* — единственное, *м* — множественное; *y*<sub>4</sub> — признак одушевленности со значениями *о* — одушевленный, *н* — неодушевленный; *y*<sub>5</sub> — признак современности со значениями *с* — современный, *а* — архаичный [1].

Для кратких форм и сравнительной степени качественных прилагательных зависимость окончания от текста может быть однозначно охарактеризована набором признаков (*y*<sub>2</sub>, *y*<sub>3</sub>, *y*<sub>6</sub>), где *y*<sub>6</sub> — признак степени сравнения со значениями *п* — положительная, *с* — сравнительная.

При математическом описании процесса склонения указанных групп прилагательных будем строить функцию  $Z = \varphi(S, t)$ , где  $S = \xi(x)$ ,  $t = \eta(y)$  [1].

Построим математическую модель процесса склонения притяжательных прилагательных.

Функция  $S = \xi(x_1, x_4, x_5)$  запишется в виде:

$$\begin{aligned} S^1 &= x_1^{\sigma^1}; S^2 = x_1^{\sigma^2} x_5^{\sigma^2}; S^3 = x_1^{\sigma^3} x_4^{\sigma^3}; S^4 = x_1^{\sigma^4} x_5^{\sigma^4}; \\ S^5 &= x_1^{\sigma^5} x_4^{\sigma^5} \vee x_1^{\sigma^6} \vee x_1^{\sigma^7} \vee x_1^{\sigma^8} \vee x_1^{\sigma^9} \vee x_1^{\sigma^{10}} \vee x_1^{\sigma^{11}} \vee \\ &\vee x_1^{\sigma^{12}} \vee x_1^{\sigma^{13}} \vee x_1^{\sigma^{14}} \vee x_1^{\sigma^{15}} \vee x_1^{\sigma^{16}} \vee x_1^{\sigma^{17}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Функция  $t = \eta(y)$  принимает значения:

$$\begin{aligned} (y_1^u \vee y_1^o y_4^u) y_2^m y_3^e &= t^1; \\ ((y_1^p \vee y_1^i y_4^0) y_2^m \vee y_2^c y_1^p) y_3^e &= t^2; \\ y_1^d (y_2^m \vee y_2^c) y_3^e &= t^3; \\ y_1^m (y_2^m \vee y_2^c) y_3^e \vee y_1^d y_3^m &= t^4; \\ y_1^n (y_2^m \vee y_2^c) y_3^e &= t^5; \\ y_1^u y_2^m y_3^e &= t^6; \\ (y_1^p \vee y_1^n \vee y_1^d \vee y_1^i y_4^0) y_2^m y_3^e &= t^7; \\ y_1^a y_2^m y_3^e &= t^8; \\ y_1^m y_2^m y_3^e y_5^a &= t^9; \\ (y_1^a \vee y_1^o) y_2^c y_3^e &= t^{10}; \\ (y_1^u \vee y_1^i y_4^u) y_3^m &= t^{11}; \\ (y_1^n \vee y_1^p \vee y_1^i y_4^0) y_3^m &= t^{12}; \\ y_1^m y_3^m &= t^{13}. \end{aligned} \quad (2)$$

Заметим, что функции  $t = \eta(y)$  для притяжательных и полных непритяжательных прилагательных выражаются одними и теми же уравнениями. Это объясняется тем, что как притяжательные, так и полные непритяжательные прилагательные склоняются по родам, числам и падежам, т. е. влияние текста  $X$  на окончание  $Z$  для рассматриваемых групп прилагательных может быть однозначно охарактеризовано набором одних и тех же признаков.

Формулы (1) и (2) показывают, что слово своей основой влияет на окончание форм притяжательных прилагательных пятью различными способами, текст — тринадцатью способами.

Функция  $Z = \varphi(S, t)$  для первой буквы окончания:

$$\begin{aligned} (S^1 \vee S^2) t^1 &= z_1^{\bar{}}; \\ (S^3 \vee S^5) (t^1 \vee t^4 \vee t^{11} \vee t^{12} \vee t^{13}) &= z_1^{\prime\prime}; \\ (S^1 \vee S^2 \vee S^4 \vee S^5) t^6 \vee (S^1 \vee S^2) t^2 &= z_1^a; \\ (S^1 \vee S^2) (t^7 \vee t^8) \vee (S^1 \vee S^2 \vee S^5) (t^2 \vee t^3 \vee t^5 \vee t^{10}) \vee \\ &\vee S^4 (t^7 \vee t^9) = z_1^o; \\ (S^3 \vee S^5) (t^2 \vee t^3 \vee t^7 \vee t^9 \vee t^{10}) \vee S^3 t^5 &= z_1^e; \\ (S^1 \vee S^2) (t^3 \vee t^8) \vee S^3 t^8 &= z_1^f; \\ (S^1 \vee S^2 \vee S^4) (t^4 \vee t^{11} \vee t^{12} \vee t^{13}) \vee S^4 t^1 &= z_1^h; \\ (S^3 \vee S^5) t^8 &= z_1^o; \\ (S^3 \vee S^5) t^6 &= z_1^a; \end{aligned} \quad (3)$$

для второй буквы окончания:

$$\begin{aligned} t^7 \vee (S^3 \vee S^4 \vee S^5) t^1 &= z_2^f; \\ (S^2 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5) t^2 &= z_2^e; \\ t^4 \vee t^5 \vee t^{13} \vee (S^2 \vee \dots \vee S^5) t^3 &= z_2^h; \\ (S^1 \vee S^2) t^8 \vee (S^3 \vee S^4) (t^8 \vee t^9) &= z_2^o; \\ t^{12} &= z_2^x; \\ (S^1 \vee S^2 \vee S^5) (t^6 \vee t^8 \vee t^{10} \vee t^{11}) \vee (S^1 \vee S^2) (t^2 \vee t^3) &= z_2^{\bar{}}; \end{aligned} \quad (4)$$

для третьей буквы окончания:

$$\begin{aligned} t^{13} \vee (S^2 \vee S^5) (t^2 \vee t^3) &= z_3^a; \\ (S^2 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5) t^2 &= z_3^o; \\ (S^2 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5) t^3 &= z_3^y; \\ t^1 \vee t^4 \vee \dots \vee t^{12} \vee (S^1 \vee S^2) (t^2 \vee t^3) &= z_3^{\bar{}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Построим математическую модель процесса склонения кратких форм и простой сравнительной степени имен прилагательных

Функция  $S = \xi(x_1, x_2, x_3)$  запишется в виде:

$$\begin{aligned} \alpha \vee x_1^a \vee (x_2^b (x_3^c \vee x_3^d \vee x_3^e \vee x_3^f \vee x_3^g \vee x_3^h \vee \\ \vee x_3^i) \vee x_2^j) = S^1; \\ x_1^p \vee x_1^q \vee x_3^u \vee x_1^r = S^2; \beta x_2^y = S^3; \\ x_2^u (x_1^v \vee x_1^w \vee x_1^x \vee x_1^y) = S^4; x_1^u x_2^v = S^5; \\ x_1^e x_2^y = S^6; x_1^r (x_2^y (\varepsilon \vee \nu) \vee x_2^z (x_3^d \vee \\ \vee x_3^b \vee x_3^m \vee x_3^p)) = S^7; x_1^r x_2^y \vee = S^8; \\ x_1^r x_2^y x_3^u = S^9; x_1^k (x_3^b \vee x_3^g \vee x_3^c \vee x_3^d \vee \\ \vee x_3^j \vee x_3^l \vee x_3^m \vee x_3^h \vee x_3^n \vee x_3^p \vee x_3^m) = S^{10}; \\ x_1^k (\nu \vee x_3^b \vee x_3^i) = S^{11}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\alpha = x_1^b \vee x_1^e \vee x_1^d \vee x_1^j \vee x_1^l \vee x_1^m \vee x_1^n \vee x_1^p \vee x_1^c \vee x_1^m \vee x_1^f$ ;  $\beta =$   
 $= x_1^x \vee x_1^q \vee x_1^u \vee x_1^u$ ;  $\gamma = x_3^a \vee x_3^e \vee x_3^i \vee x_3^u \vee x_3^k \vee x_3^o \vee x_3^c \vee x_3^y \vee$   
 $\vee x_3^f \vee x_3^x \vee x_3^u \vee x_3^j \vee x_3^i$ ;  $\varepsilon = x_3^b \vee x_3^g \vee x_3^d \vee x_3^j \vee x_3^i \vee x_3^l \vee x_3^m \vee$   
 $\vee x_3^n \vee x_3^h \vee x_3^p \vee x_3^c \vee x_3^m \vee x_3^f \vee x_3^u \vee x_3^h$ ;  $\nu = x_3^x \vee x_3^q \vee x_3^u \vee x_3^u$ .

Функция  $t = \eta(y)$  принимает значения:

$$y_2^u y_3^e = t^1; y_2^c y_3^i = t^2; y_2^x y_3^e = t^3; y_3^m = t^4; y_6^c = t^5. \quad (7)$$

В данном случае функция  $t = \eta(y)$  имеет иной вид, чем у притяжательных и полных непритяжательных имен прилагательных. Это объясняется тем, что для кратких форм и сравнительной степени имен прилагательных зависимость окончания от текста может однозначно характеризоваться иным набором признаков, чем для вышеуказанной группы прилагательных.

Формулы (6) и (7) показывают, что слово своей основой влияет на окончания кратких форм и степеней сравнения имен прилагательных 11-ю способами, текст — 5-ю способами.

Функция  $Z = \varphi(S, t)$  для первой буквы окончания:

$$\begin{aligned} (S^1 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5 \vee S^7 \vee S^8 \vee \dots \vee S^{11}) t^1 = z_1^-; \\ (S^1 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5 \vee S^7 \vee S^8 \vee S^{10} \vee S^{11}) t^2 = z_1^a; \\ (S^1 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^7 \vee S^8 \vee S^{10} \vee S^{11}) t^3 = z_1^o; \\ (S^1 \vee S^5 \vee S^7 \vee S^8) t^4 = z_1^r; \\ (S^1 \vee S^2 \vee \dots \vee S^{11}) t^5 \vee (S^2 \vee S^4 \vee S^5 \vee S^6 \vee S^9) t^3 = z_1^f; \quad (8) \\ S^2 t^1 = z_1^i; \\ S^6 t^1 = z_1^u; \\ (S^2 \vee S^6 \vee S^9) t^2 = z_1^r; \end{aligned}$$

$$(S^2 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^6 \vee S^9 \vee S^{10} \vee S^{11})t^4 = z_1'';$$

для второй буквы окончания:

$$(S^1 \vee S^2 \vee \dots \vee S^{11})(t^2 \vee t^3 \vee t^4) \vee (S^2 \vee S^6)t^1 \vee \\ \vee (S^6 \vee S^{10} \vee S^{11})t^5 = z_2'';$$

$$(S^1 \vee S^2 \vee \dots \vee S^5 \vee S^7 \vee S^8 \vee S^9)t^5 = z_2'';$$

для третьей буквы окончания:

$$(S^1 \vee S^2 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5 \vee S^7 \vee S^8 \vee S^9)t^5 = z_3''.$$

С помощью предложенной математической модели можно решать следующие задачи: нахождение окончания словоформы по исходной форме слова и набору грамматических признаков (подзадача морфологического синтеза); определение по заданному окончанию словоформы соответствующего ей набора грамматических признаков (подзадача морфологического анализа); установление по заданному окончанию словоформы характеристики основы (подзадача морфологической нормализации).

В первой задаче уравнения решаются в следующем порядке (в качестве примера рассмотрим притяжательные прилагательные (1), (2), (3), (3), (5); во второй задаче — (3), (4), (5), (2); в третьей задаче — (3), (4), (5), (1)).

Решение осуществляется в соответствии с алгоритмом [3].

**Пример 1.** Задана исходная форма слова — *лисий*. Найти окончание, которое соответствует словоформе, находящейся в дательном падеже множественного числа. Имеем  $x_1 = c''$ ,  $y_1 = y_3 = m$ . Найти переменные  $z_1, z_2, z_3$ .

Подставляем в систему уравнений (1) значение переменной  $y_1$ . В результате получаем:  $\overline{S^1}, \overline{S^2}, \overline{S^3}, \overline{S^4}, \overline{S^5}$ . В систему (2) подставляем значения заданных переменных  $y_1, y_3$  и переменных, определенных на предыдущем этапе:  $\overline{t^1}, \overline{t^2}, \overline{t^3}, \overline{t^4}, \overline{t^5}, \dots, \overline{t^{13}}$ , а в (3), (4), (5) — значения найденных ранее переменных:  $\overline{z_1}, \overline{z_1''}, \overline{z_1^0}, \overline{z_1^i}, \overline{z_1^u}, \overline{z_1^m}, \overline{z_1^o}, \overline{z_1^a}, \overline{z_2^a}, \overline{z_2^i}, \overline{z_2^u}, \overline{z_2^o}, \overline{z_2^m}, \overline{z_3^a}, \overline{z_3^i}, \overline{z_3^u}, \overline{z_3^o}, \overline{z_3^m}$ , т. е. имеем  $z_1''$ ,  $z_2''$  или окончание *им*.

**Пример 2.** Задано окончание *его*. Найти соответствующий этому окончанию набор грамматических признаков. Имеем  $z_1^e, z_2^e, z_3^e$ . Найти переменные  $y_1, y_2, \dots, y_5$ .

Подставим значения переменных в системы уравнений (4) и (5). Имеем следующие уравнения:

$$(S^3 \vee S^5)(t^2 \vee t^3 \vee t^7 \vee t^9 \vee t^{10}) \vee S^3 t^5 = z_1^e;$$

$$(S^2 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5)t^2 = z_2^e;$$

$$(S^2 \vee S^3 \vee S^4 \vee S^5)t^2 = z_3^e.$$

Решая совместно уравнения относительно  $t$ , получим значение переменной  $t=2$ . Из системы (2) находим значения грамматических признаков: родительный или винительный (при неодушевленности) падеж, мужской род, единственное число или едний род, родительный падеж, единственное число, т. е.

$$y_1^p y_2^m y_3^e, y_1^a y_2^m y_3^e y_4^o, y_1^p y_2^e y_3^e.$$

**Пример 3.** Задано окончание *их*. Найти характеристику основы. е. имеем:  $z_1^u, z_2^x$ . Найти  $x_1, x_4, x_5$ .

Решая системы уравнений (3), (4) и (5), получим:  $(S^3 \vee S^5) \wedge (t^1 \vee t^4 \vee t^{11} \vee t^{12} \vee t^{13}) = z_1^u; t^{12} = z_2^x$ . При совместном решении этих уравнений относительно  $S$  имеем:  $S^5, S^3$ .

Результат — основа оканчивается на мягкое *н* (при производной или непроизводной основе) или на мягкие *б, в, ж, з, л, и, р, с, т, ч, ш*, т. е. имеем:  $x_1^{n''}, x_4^{n''}, x_1^{n''}, x_4^{n''}, x_1^{b''}, x_1^{v''}, x_1^{z''}, x_1^{l''}, x_1^{i''}, x_1^{r''}, x_1^{s''}, x_1^{t''}, x_1^{ch''}, x_1^{sh''}, x_5^y, x_5^b$ .

Например, *фазаний, дочерний, лисий*.

**Список литературы:** 1. *Шабанов-Кушнаренок Ю. П.* Математическое описание процесса склонения имен прилагательных. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1979. Вып. 24, с. 10—15. 2. *Шабанов-Кушнаренок Ю. П.* О теории интеллекта. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1979. Вып. 22, с. 3—11. 3. *Шабанов-Кушнаренок Ю. П.* Математическая модель склонения полных непряжательных имен прилагательных. — Научная и техническая информация, 1978, № 11, с. 9—12. 4. *Зализняк А. А.* Грамматический словарь русского языка. М., Русский язык, 1977. 880 с. 5. Грамматика русского языка. М., АН СССР, 1960. 719 с.

Поступила 28 марта 1979 г.

УДК 62.506.2

В. А. ЛОВИЦКИЙ, канд. техн. наук

## СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Построение искусственных систем, понимающих естественный язык, связано с реализацией процессов грамматической обработки отдельных слов языка. Понимание слов и их значений является первым из трех условий, выполнение которых обеспечивает понимание естественного высказывания [1]. Условно можно выделить два подхода к решению морфологических задач (МЗ): алгоритмический [2] и логический [3]. В первом случае МЗ решаются путем составления алгоритмов, с привлечением эвристической информации, во втором — описание процесса решения МЗ осуществляется на языке обобщенных логических функций. Основной недостаток этих подходов состоит в том, что описание процессов решения МЗ связано с конкретным естественным языком и отражает его особенности. Этот недостаток привел, напри-

мер, к необходимости разрабатывать различные системы для морфологической классификации глагольных форм [4] и име прилагательных русского языка [5]. Более того, система для морфологической классификации глагольных форм русского языка не может быть использована для решения таких же МЗ в английском языке без существенного изменения программного обеспечения системы, отражающего особенности естественного языка.

В то же время мозг ребенка легко усваивает любой язык, выделяя закономерности его построения на основании анализа элементов «речевой» среды. Этот общеизвестный факт позволяет утверждать, что мозг ребенка располагает определенными механизмами и структурами, обеспечивающими усвоение особенностей любого естественного языка. Поскольку закономерности языка выявляются в результате анализа относительно небольшого множества конкретных примеров, логично предположить, что человеческий мозг использует индуктивные механизмы формирования понятий [6]. В самом деле, с помощью индуктивного метода легко определить, например, понятие «существительное среднего рода единственного числа именительного падежа», как слова, оканчивающиеся на «О», «Е» или «МЯ». Но с помощью данного понятия можно решать только метазадачи, позволяющие определить принадлежность любого входного слова заданному классу. А следовательно, решение задач преобразования слов (именно к этому классу относится большинство МЗ) требует подхода, отличного от индуктивного формирования понятий функциональным путем. Назовем его структурным методом формирования индуктивных понятий. Суть этого метода состоит в том, что в результате анализа небольшого числа слов, заданного конечным множеством  $X$ , строится не функция, включающая в себя существенные значения признаков всех слов множества  $X$  [6], а структура, которая содержит все слова множества  $X$  и отражает закономерности объединяющую слова  $x_i \in X$  в одно множество.

Продемонстрируем работу алгоритма формирования индуктивных понятий структурным методом на конкретном примере. Структуру будем строить в виде графа, вершины которого представлены буквами слова, а дуги указывают на связь букв в слове. Будем считать, что на множестве  $X$  задано разбиение его на подмножества  $X_i$ , каждое из которых характеризуется некоторым именем понятия  $CNP(<X_i>)$  [6]. Для рассматриваемого примера  $\cup X_i = X$ , а  $\cap X_i = \emptyset$ . Итак, пусть  $X = \{\text{торчать, трещать, бить, торчит, торчат, торчал, торчала, торчало, торчали}\}$ , причём  $X_1 = \{\text{торчать, трещать, бить}\}$ ,  $X_2 = \{\text{торчит}\}$ ,  $X_3 = \{\text{торчат}\}$ ,  $X_4 = \{\text{торчал}\}$ ,  $X_5 = \{\text{торчала}\}$ ,  $X_6 = \{\text{торчало}\}$ ,  $X_7 = \{\text{торчали}\}$ , а  $CNP(<X_1>) = \{\langle \text{что делать} \rangle\}$ ,  $CNP(<X_2>) = \{\langle \text{что делает} \rangle, \langle \text{муж. род} \rangle, \langle \text{ед. число} \rangle\}$ ,  $CNP(<X_3>) = \{\langle \text{что делают} \rangle, \langle \text{множ. число} \rangle\}$ ,  $CNP(<X_4>) = \{\langle \text{что делал} \rangle, \langle \text{муж. род} \rangle, \langle \text{ед. число} \rangle\}$ ,  $CNP(<X_5>) =$

$= \{ \langle \text{что делала} \rangle, \langle \text{жен. род} \rangle, \langle \text{ед. число} \rangle \}$ , CNP ( $\langle X_6 \rangle$ ) =  
 $= \{ \langle \text{что делало} \rangle, \langle \text{ср. род} \rangle, \langle \text{ед. число} \rangle \}$ , CNP ( $\langle X_7 \rangle$ ) =  
 $= \{ \langle \text{что делали} \rangle, \langle \text{множ. число} \rangle \}$ . Приведенные характеристики  $X_i$  ни в коей мере не претендуют на полноту и указаны только с целью демонстрации работы алгоритма. Идея работы алгоритма основана на построении древовидной структуры (ДС) [7]. Если ДС строится на основании элементов множества  $X$ , то будем ее называть прямой ДС (ПДС). Если же в качестве элементов множества взять обращенные слова, то получим  $X^R \Rightarrow \{ \text{ТАЧРОТ, БТАЩЕРТ, БТАЖЕБ, ТИЧРОТ, ТАЧРОТ, ЛАЧРОТ, АЛАЧРОТ, ОЛАЧРОТ, ИЛАЧРОТ} \}$ , а ДС, построенную на основании этих слов, назовем обратной ДС (ОДС). Совместив эти две структуры соответствующим образом, получим ТВ-структуру (сокращение от английского There and Back: «туда и обратно»).

Алгоритм построения ТВ-структуры начинается с первого обращенного слова множества  $X_1$  и продолжается до тех пор, пока не встретится «незнакомая» буква. Если этой «незнакомой» буквой является первая буква обращенного слова, то она заносится в ОДС, исключается из слова и алгоритм, используя остаток слова, переходит к построению ПДС. Так, для нашего примера построение ТВ-структуры началось со слова «торчать». Вначале в ОДС был занесен «Ь», затем в ПДС — «торчат» и наконец элемент ПДС с «Т» и элемент ОДС с «Ь» были соединены дугой. Для слова «трещать» фрагмент обращенного слова «та» читается в ОДС, фрагмент слова «трещ» заносится в ПДС, элемент ПДС с «Щ» и элемент ОДС с «А» связываются между собой дугой. Таким же образом заносятся все слова множеств  $X_i$ . Иначе говоря, в ОДС заносятся только «незнакомые» последние буквы (у соответствующих им элементов (см. рисунок) заштрихована нижняя часть кружка), а в ПДС — фрагмент слова, который остался или после занесения последней буквы в ОДС, или после чтения в ОДС последовательности букв. Для рассматриваемого примера, пользуясь данным алгоритмом, получена ТВ-структура, представленная на рисунке. Вершины, соответствующие начальным буквам, заштрихованы вверх. При построении ТВ-структуры должно выполняться требование, согласно которому эти вершины не должны иметь входных связей, а вершины, отвечающие последним буквам слова — выходных связей. Названное достигается тем, что в ОДС читаются слова без начальной буквы. В процессе построения ТВ-структуры алгоритм ставит в соответствие каждому элементу указатели прямого и обратного хода, позволяющие читать слова в прямом и обратном направлениях. В ТВ-структуре, приведенной на рисунке, ориентация связей соответствует примерам рассматриваемых ниже задач.

После занесения каждого слова в ТВ-структуру, алгоритм связывает последнюю букву слова с областью, в которой хранятся

коды слов, оканчивающихся на эту букву, и их характеристики т. е.  $CNP(< X_i >)$ .

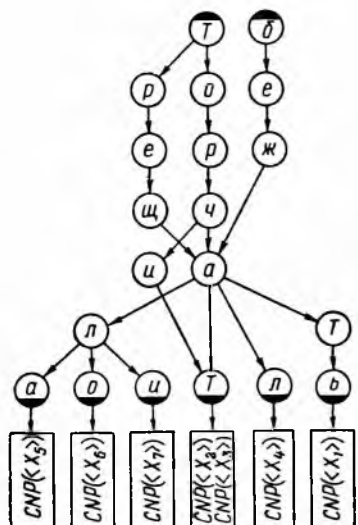
Если построить систему, память которой представлена Т структурой, с ее помощью можно решать следующие задачи.

1. Необходимо охарактеризовать новое слово «бежала». Слово  $x_i$  называется новым, если  $x_i \notin X$ . Легко видеть, что в результате решения этой задачи получим  $CNP(< X_5 >)$ .

Для глаголов, имен существительных и т. д. должны строиться самостоятельные ТВ-структуры. Дано слово «бежала». Его необходимо так преобразовать, чтобы соответствовала характеристика, данная  $CNP(< X_4 >)$ .

При решении задач данного типа система будет совершать «человеческие» ошибки. Так, преобразуя слово «бежала» в соответствии с  $CNP(< X_3 >)$ , система выдаст слово «бежат».

Как видно из рисунка, слова, оканчивающиеся буквой «Т», характеризуются  $CNP(< X_2 >)$  и  $CNP(< X_3 >)$ . В этом случае для установления взаимно-однозначного соответствия между классами слов и характеристиками берется соответствующее число последних букв.



Коды слов и их характеристики

характеристиками берется соответствующее число последних букв. Так, для нашего примера  $CNP(< X_5 >)$  будет характеризовать класс слов, оканчивающихся на «ИТ», а  $CNP(< X_3 >)$  — оканчивающихся на «АТ».

Характеристики слов связываются с начальными буквами. Они имеют более сложный характер и связаны с определением значений слов. В этом читатель сможет легко убедиться, построив самостоятельно ТВ-структуру для  $X = \{\text{ХОДИТЬ, ПРИХОДИТЬ, УХОДИТЬ, ЗАХОДИТЬ, ПОДХОДИТЬ}\}$ .

ТВ-структура, совместно с пирамидальной и «И/ИЛИ» структурами [6] представляет собой память диалоговой системы, позволяющей естественный язык (система ДЕСТА) и реализована в Харьковском институте радиоэлектроники.

Список литературы: 1. Лурия А. Р. Основные проблемы нейролингвистики. М., Изд-во Моск. ун-та, 1975. 253 с. 2. Пиотровский Р. Г. Текст, машина, человек. Л., Наука, 1975. 326 с. 3. Шабанов-Кушнаренок Ю. П. Примененный метод нуля-органа в лингвистике. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1978. Вып. 21, с. 109—112. 4. Соловьева Е. А. К вопросу о построении общего алгоритма морфологической классификации глагольных форм русского языка. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1975. Вып. 15, с. 143—151. 5. Морфологическая классификация имен прилагательных русского языка. М. Ф. Бондаренко, Э. М. Бузницкая, Ю. В. Лопухин, Н. К. Свиридов.

В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1976, вып. 16, с. 115—119. 6. *Ловицкий В. А.* Система формирования понятий для объектов, заданных неявным набором признаков. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 18, с. 73—81. 7. *Ахо А., Ульман Дж.* Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции, т. 1. Мир, 1978, 612 с.

*Поступила 19 марта 1979 г.*

УДК 62.506.2

*А. М. ЕМЕЛЬЯНОВ*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕЙМОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПОСТУПКОВ. СООБЩЕНИЕ 1**

В советской психологической науке получила широкое признание теория предметной деятельности, вытекающая из классических трудов Л. С. Выготского [1], С. Л. Рубинштейна [2] и успешно развиваемая в настоящее время в работах А. Н. Леонтьева [3, 4]. Основной принцип этой теории заключается в том, что психические особенности личности изучаются не столько по ее высказываниям и пожеланиям, сколько по ее конкретным действиям — поступкам.

Данная статья посвящена разработке формальных методов описания и анализа поступков. Методы классической математики (классической логики) для такого описания оказываются не очень пригодными, поскольку они из-за свойственной им жесткой интерпретации не позволяют раскрыть ситуативного характера человеческих поступков.

Цель данной работы — показать, что для описания и анализа поступков более подходящим и гибким инструментом могут служить модели семиотического типа [5], представленные в виде фреймов (по терминологии М. Минского) [6, 7].

Структура личности представляет собой сложное сочетание большого числа связанных факторов, взаимодействие между которыми трудно изучать на основе только умозрительного анализа. Поэтому при рассмотрении этой проблемы приходится прибегать к более формальным и объективным методам исследования, позволяющим выделять отдельные компоненты этой структуры, существующие между ними связи и средствами точных наук анализировать их взаимодействие.

Сложность рассматриваемой проблемы заключается и в том, что в современной науке пока еще не сложилось единое мнение по некоторым существенным положениям, относящимся к понятию личности и ее структуре. Однако, на основе отдельных подходов, нам представляется возможным вычленить в структуре личности некоторые формальные единицы и положить их в основу ее математического анализа. Так, в частности, К. К. Платонов [8] выделяет четыре основные подструктуры личности.

1) Подструктура направленности и моральных черт личности. Ее определяют следующие качества личности: потребности, мотивы, тенденции, установки, интересы, идеалы.

2) Подструктура опыта, которая формируется под воздействием деятельности, воспитания и целиком социально обусловлена. Эта подструктура отражает знания, умения, привычки, приобретенные личностью под воздействием социальной среды.

Условно назовем две указанные подструктуры: «Я духовное» и «Я социальное» личности. При этом будем считать, что «Я духовное» складывается из знаний и опыта личности, ее моральных качеств, устремлений, а «Я социальное» определяется положением личности в обществе (ее социальной ролью), отношением личности к этому положению, взаимоотношением личности окружающими людьми.

3) Подструктура форм отражения. Она характеризует индивидуальные особенности отдельных психических процессов или психических функций как форм отражения. Определяющим фактором данной подструктуры являются биологические особенности личности, которые формируются в процессе деятельности.

4) Биологически обусловленная подструктура, которая включает в себя разнообразные прирожденные особенности высшей нервной деятельности, половые, возрастные, патологические (органические) изменения и т. п. Эта подструктура в еще большей степени, чем предыдущая, обусловлена природными свойствами личности. Поэтому последние две подструктуры личности, вместе с ее физиологической основой, можно объединить в некоторую общую подструктуру, определяя ее условно как «Я физическое».

Таким образом, в основу рассмотрения структуры личности могут быть положены три главных ее компоненты: «Я духовное», «Я социальное», «Я физическое». Выделенные подструктуры личности можно условно рассматривать как относительно рядоположенные и автономные, хотя между ними существует тесная связь.

**Поступок человека** — это «действие, которое воспринимается и осознается самим действующим субъектом как общественный акт, как проявление субъекта, которое выражает отношение человека к другим людям» [2, с. 543]. Из этого определения следует, что для анализа поступка недостаточно ограничиться рассмотрением только подструктур самой личности, а требуется соотносить действие этих подструктур с окружающим ее миром: людьми, предметами, на которые этот поступок направлен, с общественными нормами и условиями, в которых он осуществляется.

Следуя тому же принципу, лежащему в основе подхода к рассмотрению личности, можно и ее внешнее окружение, включая объекты, на которые направлены поступки, представить в виде автономных подструктур, с которыми взаимодействуют подструктуры личности. В этом внешнем мире, в соответствии с положениями социальной психологии, можно выделить следующие подструктуры: объект непосредственного воздействия, окружающую

этот объект и личность материальную среду, непосредственное социальное окружение (микросоциальную среду) и более общее социальное окружение (макросоциальную среду). Нужно отметить, что в данном исследовании под поступком понимается как совершение, так и несовершение некоторого действия. Причем предполагается, что у личности имеется выбор между совершением поступка и его несовершением.

Остановимся кратко на описании отдельных подструктур внешнего мира.

*Объект непосредственного воздействия* — отдельные люди (он, она) или их совокупность (они), животные, растения, а также отдельные предметы неживой природы, на которые непосредственно влияет данный поступок.

*Материальная среда* — это та физическая среда, в условиях которой совершается поступок, влияющая на характер его проявления и оказывающая ответное физическое воздействие на рассматриваемую личность.

*Микросоциальная среда* — это то непосредственное социальное окружение, в котором находится действующая личность и объект непосредственного воздействия. Ею может являться малая группа, коллектив, ассоциация, корпорация, реагирующая на поступок и оказывающая ответное воздействие на личность. Эта реакция микросоциальной среды будет, очевидно, обусловлена сложившимися в ней нормами поведения, правилами, законами.

*Макросоциальная среда* — это более общее, чем микросоциальная среда, социальное окружение рассматриваемой личности и ее объекта воздействия. В качестве такой среды может рассматриваться большая группа людей, общество, государство с их законами, нормами поведения, моралью, этикой и т. п.

Таким образом, мы получили некоторый набор подструктур, характеризующих личность, и набор подструктур, определяющих ее внешний мир. В процессе совершения поступка личность воздействует на некоторый объект, находящийся в какой-то материальной среде. Это воздействие осуществляется в условиях определенной микро- и макросоциальной среды. В зависимости от характера поступка и условий его проявления, а также в соответствии с законами и нормами социального окружения, от подструктур внешнего мира следуют ответные реакции\* на личность. Эти реакции условно можно представить в виде положительных (отрицательных) подкреплений, взвешенных кванторами, характеризующими возможность появления соответствующих подкреплений.

По аналогии может быть построено описание на случай несовершения поступка.

---

\* Здесь об ответных реакциях можно говорить лишь условно, поскольку воздействия на личность этих подструктур могут и не зависеть от поступка, а следовательно не носить характера ответных реакций.

Располагая таким описанием подструктур личности и внешнего мира, а также данными о подкреплениях, действующими между этими подструктурами в случаях совершения и несорвершения поступка, становится уже возможным рассматриваемый поступок выразить на некотором специальном языке, близком к языку ситуационного управления [9]. Условимся описывать поступок только теми связями и отношениями, которые существуют в момент его осуществления. При этом значения кванторов в данном описании будут определяться только на основе объективно существующего положения вещей, т. е. на основе значения сложившейся ситуации.

Итак, при избранном подходе мы имеем некоторый язык позволяющий давать формальное описание отдельных поступков личности. Поскольку этот язык довольно лаконичен и оперирует весьма ограниченным числом понятий и отношений между ними, то он, естественно, не может дать полного описания поступка, а отражает лишь его наиболее существенные стороны. Подобные скелетные описания поступков, выражаясь словами М. Минского [6], можно назвать фреймами поступков.

Предположим, что нам известно достаточно большое число поступков данной личности, которые можно представить на языке фреймов, т. е. выразить как взаимодействие выделенных выше подструктур. Для изучения и сравнения поступков, представленных в виде фреймов, возникает необходимость разработки специального метода их анализа. Эта задача может быть решена путем создания так называемых фреймов-классификаторов.

Остановимся на вопросе построения и использования фреймов-классификаторов. Каждый фрейм-классификатор строится на основе рассмотрения и анализа серии фреймов, описывающих поступки определенной категории. Это осуществляется следующим образом. Выбираются поступки, например, известных мифологических или литературных героев, исторических личностей, которые общепринято относить к данной категории (например, к категории предательских относятся поступки Иуды, шекспировского Яго и т. п.), и строятся их фреймы. Для этого в указанных выше литературных и исторических источниках обычно имеется достаточно информации.

Путем процедуры обобщения таких фреймов получается некоторый новый фрейм, который уже отражает нечто общее, свойственное всем поступкам данной категории. Кванторы этого фрейма будут подчиняться некоторым условиям, характеризующим сущность поступков данной категории. Эти условия формулируются в виде требования истинности некоторой предикатной формулы. Полученный таким образом фрейм был назван фреймом-классификатором поступков данной категории, а его предикатная формула (функция принадлежности) — классификатором.

Подобным путем можно создать некоторый набор фреймов-классификаторов, позволяющий оценивать каждый поступок

личности с точки зрения его принадлежности к той или иной категории. Иначе говоря, поступок относится к некоторой категории, если классификатор поступков ее истинен на значениях кванторов фрейма этого поступка.

Таким образом, возможно выявить принадлежность каждого поступка к тем или иным категориям. В дальнейшем представляется возможным по категориям тех поступков, которые совершает данная личность, выводить некоторые суждения о ее особенностях.

Проиллюстрируем сказанное на примере. Для этого введем следующие обозначения:  $I$  — личность;  $I_{ph}$  — «Я физическое»;  $I_{sp}$  — «Я духовное»;  $I_{sc}$  — «Я социальное»;  $E$  — объект непосредственного воздействия;  $M$  — материальная среда;  $G$  — микросоциальная среда;  $S$  — макросоциальная среда;  $\overline{I \text{ do } A} \Rightarrow$  — личность  $I$  совершает поступок  $A$ ;  $\overline{\text{can } I \text{ do } A} \Rightarrow$  — возможность совершения поступка  $A$  личностью  $I$ , т. е. несовершения поступка  $A$ ;  $\overline{\text{can } I \text{ do } A} \Rightarrow$  — положительное подкрепление;  $\overline{\overline{\text{can } I \text{ do } A}} \Rightarrow$  — отрицательное подкрепление.

В связи с нечеткостью суждения человека о возможности возникновения тех или иных реакций внешнего мира будем использовать следующие нечеткие кванторы:

$\forall_0$  — никогда;  $\forall_1$  — исключительно редко;  $\forall_2$  — очень редко;  $\forall_3$  — редко;  $\forall_4$  — не часто, но и не редко;  $\forall_5$  — часто;  $\forall_6$  — очень часто;  $\forall_7$  — исключительно часто;  $\forall_8$  — всегда.

Будем приписывать эти кванторы подкреплениям, идущим от внешнего мира к подструктурам личности, выбирая их с позиции объективно существующего положения вещей.

Договоримся о следующем формальном расположении кванторов в порядке возрастания степени общности:

$$\forall_0 < \forall_1 < \forall_2 < \dots < \forall_8.$$

Выберем для описания поступок, который неоднократно совершали советские солдаты в годы Великой Отечественной войны, когда, жертвуя жизнью, ради успеха сражения, они закрывали своим телом ствол орудия, амбразуру дзота противника. В соответствии с введенными выше обозначениями для такого поступка имеем:  $I$  — солдат, совершающий поступок;  $E$  — вражеская огневая точка;  $M$  — условия боя;  $G$  — другие солдаты данного подразделения;  $S$  — советское общество.

Фрейм подобного поступка представлен в виде графа на рис. 1. В его левой части изображены три подструктуры действующей личности ( $I_{ph}$ ,  $I_{sp}$ ,  $I_{sc}$ ), в правой — четыре подструктуры внешнего мира ( $E$ ,  $M$ ,  $G$ ,  $S$ ). Между двумя указанными группами подструктур существуют связи различного типа, обозначенные соответствующими стрелками. Для описания такого конкретного поступка в виде фрейма нужно иметь достаточно полную информацию об условиях, в которых он совершался. Исходя из этих

условий, определяются связи между подструктурами фрейма существенные для данного поступка, и кванторы, характеризующие возможность появления этих связей. Ответные реакции на действия человека от подструктур внешнего мира изображены для случаев совершения поступка (стрелка идет от символа  $A$  и несовершения его (стрелка — от символа  $\bar{A}$ ).

Остановимся более подробно на связях, изображенных на рис. 1. Рассматриваемый поступок солдат мог совершать и не совершать\*. Этот факт отражен на фрейме двумя двойными стрелками. Теперь анализируем ответные реакции внешнего

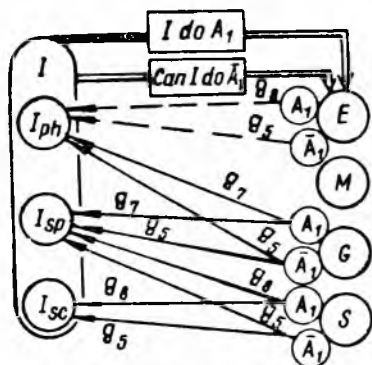


Рис. 1

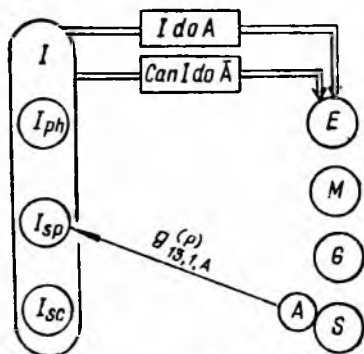


Рис. 2

мира на каждое из этих действий. От объекта воздействия (вражеская огневая точка —  $E$ ) на  $I_{ph}$  имеется соответственно два варианта возможности отрицательных подкреплений. Один из них — на случай несовершения поступка, когда возможность погибнуть оценивается квантором «часто» ( $Q_5$ ), другой — в случае совершения поступка, где такая возможность оценивается квантором «всегда» ( $Q_8$ ).

От ближайшего социального окружения —  $G$  идут положительные подкрепления и к  $I_{ph}$ , и к  $I_{sp}$  действующей личности в случаях совершения поступка и несовершения. Если бы солдат не совершал такого поступка и, как все остальные воины, продолжал обычный бой, он бы «часто» ( $Q_5$ ) имел физическую моральную поддержку товарищей. При совершении же поступка возможность той же поддержки оценивалась бы как «исключительно часто» ( $Q_7$ ).

На фрейме также отмечены положительные реакции макро-социальной среды (советского общества —  $S$ ), направленные на  $I_{sp}$  и  $I_{sc}$  личности. При совершении поступка возможность эти

\* Следует иметь в виду, что такой поступок могла совершить только высоко самоотверженная личность, которая если бы все же не совершила его то активно продолжала боевые действия.

реакций оценивается как «всегда» ( $\mathfrak{B}_8$ ), а при несовершении — как «часто» ( $\mathfrak{B}_5$ ).

Те реакции внешнего мира, которые не изменяются в зависимости от совершения или несовершения поступка, на рис. 1 не представлены. Там, например, не показана реакция материальной среды (условий боя —  $M$ ) на солдата, поскольку эта реакция остается неизменной как при совершении, так и при несовершении поступка. Следует отметить, что на рис. 1 не обозначены отрицательные реакции в случае несовершения поступка ни от  $G$ , ни от  $S$ , поскольку такой поступок не является обязательным для личности.

Теперь оценим рассматриваемый поступок с точки зрения его принадлежности к той или иной категории поступков. Для этого воспользуемся фреймами-классификаторами.

На рис. 2, 3 представлены графы предполагаемых фреймов-классификаторов соответственно нравственных и рискованных поступков, а также классификаторы поступков этих категорий. На графах указаны только те кванторы, которые являются определяющими для поступков данной категории. По рис. 2 можно заключить, что поступок  $A_1$  личности относится к категории нравственных, если личность, имея выбор между осуществлением поступков  $A_1$  и  $\bar{A}_1$ , совершает поступок  $A_1$ , такой, что в результате его совершения «всегда» ( $\mathfrak{B}_8$ ) возникает положительное подкрепление от  $S$  к  $I_{sp}$  ( $K_{\text{нрав}} = (\mathfrak{B}_{13, 1, A}^{(p)} = \mathfrak{B}_8)$ ). Из рис. 3 следует, что поступок  $A_1$  можно отнести к категории рискованных, если личность, имея выбор между осуществлением поступка  $A$  и поступка  $\bar{A}_1$ , совершает поступок  $A_1$ , такой, что возможность  $\mathfrak{B}_{2, 1, A}^{(p)}$  отрицательного подкрепления от  $E$  к  $I_{ph}$  при совершении поступка  $A_1$  выше, чем возможность  $\mathfrak{B}_{2, 2, A}^{(p)}$  отрицательного подкрепления при совершении поступка

$$\bar{A}_1 (K_{\text{риск}} = (\mathfrak{B}_{2, 2, A}^{(p)} < \mathfrak{B}_{2, 1, A}^{(p)})).$$

Можно предположить, что фрейм-классификатор самоотверженных поступков явится объединением фреймов-классификаторов нравственных и рискованных поступков, причем его классификатор будет иметь вид:  $K_{\text{сам}} = K_{\text{нрав}} \& K_{\text{риск}}$ .

Поскольку классификаторы  $K_{\text{сам}}$ ,  $K_{\text{нрав}}$  и  $K_{\text{риск}}$  истинны на кванторах поступка  $A_1$ , можно заключить, что рассматриваемый поступок солдата является самоотверженным, нравственным и рискованным. С другой стороны, поступки такого типа принято расценивать как героические. Для того чтобы прийти к этому заключению формальным путем, необходимо рассмотреть целый ряд поступков, которые также принято считать героическими (например, поступок И. Сусанина, горьковского Данко и т. п.). Если же построить фреймы каждого из них, а затем их обобщить, то получим фрейм-классификатор поступков, которые можно отнести к категории героических (см. рис. 4). Итак, анализ

фрейма описанного поступка с помощью фреймов-классификаторов позволяет определить, что этот поступок является героическим и в том числе самоотверженным, нравственным и рискованным ( $K_{гер} = K_{нрав} \& K_{риск} \& (g_{15,1,A}^{(p)} = g_8)$ ).

Нужно отметить, что проанализированный поступок солдата И. Сусанина и им подобные являются более чем героическими и относятся к категории поступков-подвигов. Все они отличаются в нашем понимании от героических интенсивностью ответных реакций внешнего мира. Так, при совершении поступка солдатом (рис. 1) сильное отрицательное подкрепление

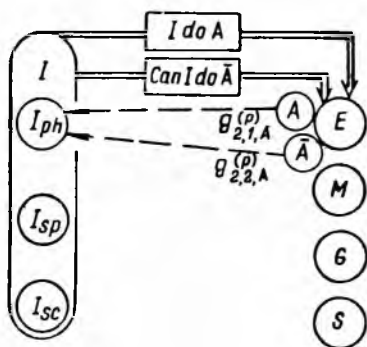


Рис. 3

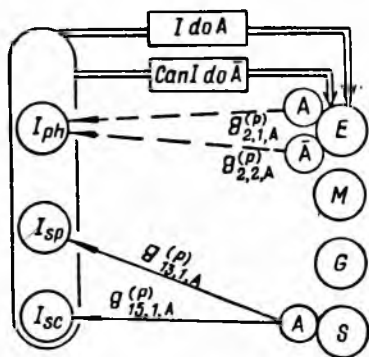


Рис. 4

от объекта воздействия вело к его гибели, а сильное положительное подкрепление от макросоциальной среды на  $I_{sc}$  делало его легендарным. Таким же фреймом, к сожалению, описываются и поступки меньшего уровня героизма, где существует та же структура подкреплений, но значительно меньшей интенсивности. Например, поступок дружинника, который защитил женщину от хулигана. Указанная неоднозначность классификации поступков связана с недостатками принятого подхода и ограниченностью его языка. Очевидно, развитием данного направления исследования должно явиться расширение языка описания и включение в него показателей интенсивности подкреплений.

Список литературы: 1. *Выготский Л. С.* Избранные психологические исследования. М., Изд-во АПН РСФСР, 1956. 386 с. 2. *Рубинштейн С. Л.* Основы общей психологии. М., Учпедгиз, 1946. 704 с. 3. *Леонтьев А. Н.* Проблемы деятельности в психологии. — Вопросы философии, 1972, № 9, с. 95—108. 4. *Леонтьев А. Н.* Деятельность, сознание, личность. М., Политиздат, 1975. 304 с. 5. *Поспелов Д. А.* Семиотические модели: успехи и перспективы. — Кибернетика, 1976, № 6, с. 114—123. 6. *Minsky M.* A framework for representing knowledge. — M. I. T. AI TR — 306. 1974. 7. *Minsky M.* Minsky's frame system theory. Cambridge (Mass). In Theoretical issues in natural language processing. 1975. 8. *Платонов К. К.* О системе психологии. М., Мысль, 1972. 215 с. 9. *Клыков Ю. И.* Язык ситуационного управления. — В кн.: Семиотические методы управления в больших системах. М., МДНТП, 1971, с. 67—81

Поступила 19 марта 1979 г.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕЙМОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПОСТУПКОВ. СООБЩЕНИЕ 2

Статья является продолжением сообщения 1 (см. данный сборник) с сохранением обозначений. Как отмечалось в сообщении 1, фрейм описывает поступок на основе фактического положения вещей. Все включенные в него понятия и отношения между ними отражают объективно существующие факторы. Такой фрейм можно условно назвать «внешним»\*. Кроме того, может быть построен другой — «внутренний» фрейм, описывающий тот же поступок, но с позиции восприятия и оценки его действующей личности. Очевидно, в таком случае «внутренний» фрейм будет представлять собой отражение сложившейся ситуации в индивидуальном сознании. Нужно отметить, что для анализа поступков «внутренние» фреймы имеют особый интерес, поскольку личность при совершении поступка руководствуется не объективными факторами, а отражением их в индивидуальном сознании. Личность совершает поступок, основываясь на том видении сложившейся ситуации (включая свои возможности, ожидаемые результаты поступка и пр.), в каком она представляется ей, т. е. исходя из структуры, описываемой «внутренним» фреймом. Если бы в сознании личности сложившаяся ситуация отражалась без всяких искажений, то «внутренний» фрейм полностью совпал бы с «внешним». Фактически же подобное совпадение бывает далеко не всегда. В результате неадекватности восприятия и оценки личностью данной ситуации «внутренний» фрейм может существенно отличаться от «внешнего». Примером этому являются фреймы, описывающие поступок Дон Кихота, когда он вступает в «борьбу» с ветряной мельницей. В этой мельнице он видит опасного врага человечества и мужественно сражается с ним. Такое иллюзорное отражение ситуации будет описывать «внутренний» фрейм. «Внешний» же фрейм отразит фактическую неуразумность поступка.

На рис. 1 и 2 представлены эти два фрейма рассматриваемого поступка. На рис. 1 изображен «внутренний» фрейм поступка Дон Кихота.

Сопоставляя этот фрейм с фреймами-классификаторами, приходим к заключению, что он относится к категории самоотверженных поступков.

Остановимся кратко на рассмотрении «внутреннего» фрейма поступка Дон Кихота. Как видно из рис. 1, Дон Кихот мог

\* Особо отметим, что фреймы-классификаторы строятся на основе обобщения только «внешних» фреймов.

совершать и не совершать свой поступок  $A_2$ . Если бы он его не совершал, то он совсем ( $\mathcal{B}_0$ ) не подвергал бы себя опасности. Совершение же поступка в его понимании было связано с возможностью погибнуть ( $\mathcal{B}_5$ ). Однако своим поступком он рассчитывал во всех случаях ( $\mathcal{B}_8$ ) заслужить авторитет в ближнем окружении и обществе, т. е. судя по «внутреннему» фрейму поступок был действительно самоотверженным.

Теперь рассмотрим «внешний» фрейм того же поступка (рис. 2). На самом деле, если бы личность не совершала этот поступок, она совсем ( $\mathcal{B}_0$ ) не подвергала бы себя опасности. Совершение

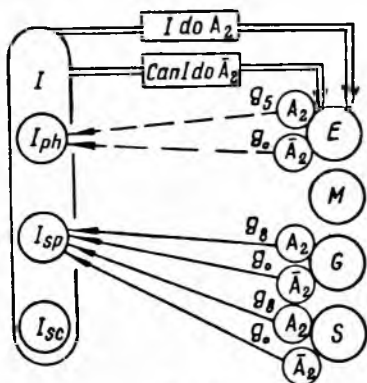


Рис. 1

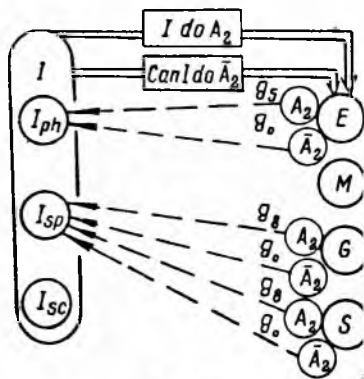


Рис. 2

же поступка фактически было сопряжено с возможностью погибнуть ( $\mathcal{B}_5$ ). К тому же данный поступок определенно ( $\mathcal{B}_8$ ) отрицательно оценивался как в ближнем окружении, так и в обществе. Классифицируя такой поступок, можно заключить, что он относится к категории поступков с неоправданным риском.

Если теперь соотнести «внутренний» и «внешний» фреймы рассмотренного поступка Дон Кихота, обнаруживается явное расхождение между тем, на что претендовала личность в данном поступке и тем, каким он фактически являлся. В психологии принято считать поступки, в которых обнаруживается такое несоответствие, смешными. Поэтому и данный поступок в его внешнем проявлении может быть отнесен к категории смешных.

Из приведенного примера следует важный для данного исследования вывод, что на основе соотнесения «внешнего» и «внутреннего» фреймов поступка возникает дополнительная возможность для его классификации.

Необходимо отметить, что при рассмотрении «внешнего» и «внутреннего» фреймов поступка мы фактически имеем дело с моделями, определяющими по терминологии А. Н. Леонтьева соответственно его значение и смысл. «Внешний» фрейм описывает поступок на основе тех представлений о его содержании, стру-

туре и свойствах, которые утвердились в данной социальной среде и определяют его значение. «Внутренний» же фрейм показывает как тот же поступок отражается в индивидуальном сознании человека, совершающего его, т. е. характеризует смысл поступка, причем при принятом методе описания смысл поступка выражается в тех же поведенческих категориях, в каких отображается его значение.

Ниже предложен математический аппарат для описания рассматриваемых фреймов: будут даны определения фрейма поступка, операции обобщения фреймов и получения фреймов-классификаторов, операций над фреймами-классификаторами.

Дадим формальное определение фрейма поступка. Для этого используем язык теории предикатов, а также нечеткие кванторы.

Введем в рассмотрение следующие предикаты:  $do(X_1, X_2, X_3)$  —  $X_1$  — совершает в отношении  $X_2$  поступок  $X_3$ ;  $cando(X_1, X_2, X_3)$  —  $X_1$  мог бы совершить в отношении  $X_2$  поступок  $X_3$ ;  $P_{+(-)} \times \times (X_1, X_2)$  — от  $X_1$  к  $X_2$  идет положительное (отрицательное) подкрепление.

Договоримся обобщенное понятие «поступок» обозначать через  $A$ , а конкретные поступки — через  $A_i$ ,  $i \in I$  ( $I$  — множество индексов). Обозначим символом  $\leftrightarrow$  равносильность высказываний и примем следующие допущения:

$$1) \text{ } dy(X_1, X_2, X_3) \leftrightarrow (X_1 = I) \& (X_2 = E) \& (X_3 = A);$$

$$2) \text{ } cando(X_1, X_2, X_3) \leftrightarrow (X_1 = I) \& (X_2 = E) \& (X_3 = A)$$

(допущения 1 и 2 утверждают, что поступок совершает только личность и только в отношении  $E$ );

$$3) \text{ } P_{+(-)}(X_1, X_2) \leftrightarrow (X_1 = E) \& ((X_2 = I_{ph}) \vee (X_2 = I_{sp})) \vee (X_1 = M) \& (X_2 = I_{ph}) \vee (X_1 = G) \& ((X_2 = I_{ph}) \vee (X_2 = I_{sp})) \vee (X_1 = S) \& ((X_2 = I_{ph}) \vee (X_2 = I_{sp}) \vee (X_2 = I_{sc})).$$

В допущении 3 указано, на какие подструктуры личности могут воздействовать (посредством положительных или отрицательных подкреплений) различные подструктуры внешнего мира. Оценим возможность появления соответствующего подкрепления посредством нечетких кванторов и запишем  $\mathfrak{P}_t P_{+(-)} \times \times (X_1, X_2)$  ( $t = 0, 1, \dots, 8$ ).

Определение 1. Назовем  $F(A) = \langle F^{(s)}(A), F^{(o)}(A) \rangle$  фреймом поступка  $A$ , если

$$F^{(p)}(A) = \left\{ \left[ C(A, \bar{A}) \& \left( do(I, E, A) \rightarrow \bigotimes_{k=1}^{16} P_{k,1}^{(p)} \right) \& \left( do(I, E, \bar{A}) \rightarrow \bigotimes_{k=1}^{16} P_{k,2}^{(p)} \right) \right] \rightarrow do(I, E, A) \right\},$$

где

$$C(A, \bar{A}) = cando(I, E, A) \& cando(I, E, \bar{A});$$

$$P_{1,1}^{(p)} = \mathfrak{P}_{1,1}^{(p)} A P_{+}(E, I_{ph}); \quad P_{9,1}^{(p)} = \mathfrak{P}_{9,1}^{(p)} A P_{+}(G, I_{sp});$$

$$P_{2,1}^{(p)} = \mathfrak{P}_{2,1}^{(p)} A P_{-}(E, I_{ph}); \quad P_{10,1}^{(p)} = \mathfrak{P}_{10,1}^{(p)} A P_{-}(G, I_{sp});$$

$$\begin{aligned}
P_{3,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{3,l,A}^{(p)} P_+(E, I_{sp}); & P_{11,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{11,l,A}^{(p)} P_+(S, I_{ph}); \\
P_{4,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{4,l,A}^{(p)} P_-(E, I_{sp}); & P_{12,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{12,l,A}^{(p)} P_-(S, I_{ph}); \\
P_{5,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{5,l,A}^{(p)} P_+(M, I_{ph}); & P_{13,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{13,l,A}^{(p)} P_+(S, I_{sp}); \\
P_{6,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{6,l,A}^{(p)} P_-(M, I_{ph}); & P_{14,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{14,l,A}^{(p)} P_-(S, I_{sp}); \\
P_{7,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{7,l,A}^{(p)} P_+(G, I_{ph}); & P_{15,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{15,l,A}^{(p)} P_+(S, I_{sc}); \\
P_{8,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{8,l,A}^{(p)} P_-(G, I_{ph}); & P_{16,l}^{(p)} &= \mathfrak{B}_{16,l,A}^{(p)} P_-(S, I_{sc});
\end{aligned}$$

$\mathfrak{B}_{k,l,A}^{(p)} \in \{\mathfrak{B}_0, \mathfrak{B}_1, \dots, \mathfrak{B}_8\}$ ,  $k = 1, 2, \dots, 16$ ,  $l = 1, 2$ ;  $p \in \{s, o\}$ ; причем кванторы  $\mathfrak{B}_{k,l,A}^{(o)}$  выявляются из объективно существующих отношений между соответствующими подструктурами в момент осуществления поступка  $A$ , а кванторы  $\mathfrak{B}_{k,l,A}^{(s)}$  — на основе данных об их субъективном отражении.

Определим выражения  $F^{(s)}(A)$  и  $F^{(o)}(A)$  соответственно как «внутренний» и «внешний» фрейм поступка  $A$ . Фрейм конкретного поступка  $A_l$  имеет вид  $F(A_l) = \langle F^{(s)}(A_l), F^{(o)}(A_l) \rangle$  и образуется путем конкретизации кванторов фрейма  $F(A)$ . Набор конкретизированных кванторов  $N_{A_l}^{(p)} = (\mathfrak{B}_{1,l,A_l}^{(p)}, \mathfrak{B}_{2,l,A_l}^{(p)}, \dots, \mathfrak{B}_{16,l,A_l}^{(p)}, \mathfrak{B}_{1,2,A_l}^{(p)}, \mathfrak{B}_{2,2,A_l}^{(p)}, \dots, \mathfrak{B}_{16,2,A_l}^{(p)})$  будет определять при  $p = 0$  «внутренний», а при  $p = o$  «внешний» фрейм поступка  $A_l$ , а пара наборов  $N_{A_l}^{(p)} = (N_{A_l}^{(s)}, N_{A_l}^{(o)})$  — сам фрейм поступка  $A_l$ .

В дальнейшем договоримся категории поступков обозначать через  $c_j$ ,  $j \in z$  (где  $z$  — множество индексов), а поступки категории  $c_j$  назвать  $c_j$ -поступками.

Фрейм-классификатор совершения  $c_j$ -поступков получается как результат применения процедуры обобщения к  $n$  отобраным «внешним» фреймам совершения  $c_j$ -поступков:  $F^{(o)}(A_1), F^{(o)}(A_2), \dots, F^{(o)}(A_n)$ .\* Дадим формальное описание этой процедуры. Рассмотрим матрицу  $\mathfrak{B}$ , столбцы которой образованы векторами  $N_{A_i}^{(o)}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

$$\mathfrak{B} = \begin{vmatrix}
\mathfrak{B}_{1,1,A_1}^{(o)} & \mathfrak{B}_{1,1,A_2}^{(o)} & \dots & \mathfrak{B}_{1,1,A_n}^{(o)} \\
\mathfrak{B}_{2,1,A_1}^{(o)} & \mathfrak{B}_{2,1,A_2}^{(p)} & \dots & \mathfrak{B}_{2,1,A_n}^{(o)} \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\mathfrak{B}_{16,1,A_1}^{(o)} & \mathfrak{B}_{16,1,A_2}^{(o)} & \dots & \mathfrak{B}_{16,1,A_n}^{(o)} \\
\mathfrak{B}_{1,2,A_1}^{(o)} & \mathfrak{B}_{1,2,A_2}^{(o)} & \dots & \mathfrak{B}_{1,2,A_n}^{(o)} \\
\mathfrak{B}_{2,2,A_1}^{(o)} & \mathfrak{B}_{2,2,A_2}^{(o)} & \dots & \mathfrak{B}_{2,2,A_n}^{(o)} \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\mathfrak{B}_{16,2,A_1}^{(o)} & \mathfrak{B}_{16,2,A_2}^{(o)} & \dots & \mathfrak{B}_{16,2,A_n}^{(o)}
\end{vmatrix}$$

\* Следует отметить, что эффективность процедуры обобщения определяется не столько величиной  $n$ , сколько «разнокачественностью» отобранных поступков.

Всюду предполагаем, что  $k, k_1, k_2, \in \{1, 2, \dots, 16\}$ ;  $l, l_1, l_2 \in \{1, 2\}$ ;  $(k_1 - k_2)^2 - (l_1 - l_2) \neq 0$ .

Для всякой строки  $(\mathfrak{B}_{k,l,A_1}^{(o)}, \mathfrak{B}_{k,l,A_2}^{(o)}, \dots, \mathfrak{B}_{k,l,A_h}^{(o)})$  матрицы  $\mathfrak{B}$ , где  $\mathfrak{B}_0 < m_{k,l} = \min_{1 < i < n} \mathfrak{B}_{k,l,A_i}^{(o)} < \max_{1 < i < n} \mathfrak{B}_{k,l,A_i}^{(o)} = M_{k,l}$ ,\* введем предикат

$$P[m_{k,l}, M_{k,l}] (\mathfrak{B}_{k,l,A}^{(p)}) = \begin{cases} 1, & \text{если } m_{k,l} \leq \mathfrak{B}_{k,l,A}^{(p)} \leq M_{k,l}; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Построим конъюнкцию всех таких предикатов:

$$K_{c_j}^{(1)} = \& P[m_{k,l}, M_{k,l}] (\mathfrak{B}_{k,l,A}^{(p)}).$$

Договоримся под знаком \*) понимать один (но вполне определенный) из трех символов:  $<, \leq, =$ . Для любой пары строк  $(\mathfrak{B}_{k_1,l_1,A_1}^{(o)}, \mathfrak{B}_{k_1,l_1,A_2}^{(o)}, \dots, \mathfrak{B}_{k_1,l_1,A_n}^{(o)})$  и  $(\mathfrak{B}_{k_2,l_2,A_1}^{(o)}, \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A_2}^{(o)}, \dots, \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A_n}^{(o)})$  матрицы  $\mathfrak{B}$ , где выполняются условия  $\mathfrak{B}_0 < \mathfrak{B}_{k_1,l_1,A_1}^{(o)} * * \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A_1}^{(o)}$ ,  $\mathfrak{B}_0 < \mathfrak{B}_{k_1,l_1,A_2}^{(o)} * \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A_2}^{(o)}, \dots, \mathfrak{B}_0 < \mathfrak{B}_{k_1,l_1,A_n}^{(o)} * \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A_n}^{(o)}$ , введем предикат

$$P_* (\mathfrak{B}_{k_1,l_1,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A}^{(p)}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathfrak{B}_{k_1,l_1,A}^{(p)} * \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A}^{(p)}; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Построим конъюнкцию всех таких предикатов:

$$K_{c_j}^{(2)} = \& P_* (\mathfrak{B}_{k_1,l_1,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{k_2,l_2,A}^{(p)}).$$

Положим  $K_{c_j} = K_{c_j}^{(1)} \& K_{c_j}^{(2)}$ . Из построения следует, что  $K_{c_j} \neq 0$ .

Определение 2. Назовем  $F_{c_j}$  фреймом-классификатором совершения  $c_j$ -поступков, если  $F_{c_j}$  имеет вид  $F^{(p)}(A)$ , причем требуется выполнение условий  $K_{c_j}$ .

Формулу

$K_{c_j} = \Phi_{c_j} (\mathfrak{B}_{1,1,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{2,1,A}^{(p)}, \dots, \mathfrak{B}_{16,1,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{1,2,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{2,2,A}^{(p)}, \dots, \mathfrak{B}_{16,2,A}^{(p)})^{**}$  назовем классификатором совершения  $c_j$ -поступков.

Пусть личностью совершен некоторый поступок  $A_i$ , а  $F^{(s)}(A_i)$  и  $F^{(o)}(A_i)$  соответственно его «внутренний» и «внешний» фреймы. Обозначим через  $K_{c_j} | N_{A_i}^{(p)}$  результат подстановки в формулу  $K_{c_j}$  элементов вектора  $N_{A_i}^{(p)}$  ( $\rho \in \{s, o\}$ ).\*\*\*

\* Го определению,  $\min (\mathfrak{B}_{i_1}, \mathfrak{B}_{i_2}, \dots, \mathfrak{B}_{i_p}) = \mathfrak{B}_{i_t}$ , где  $i_t = \min (i_1, i_2, \dots, i_p)$ ;  $\max (\mathfrak{B}_{i_1}, \mathfrak{B}_{i_2}, \dots, \mathfrak{B}_{i_p}) = \mathfrak{B}_{i_d}$ , где  $i_d = \max (i_1, i_2, \dots, i_p)$ ;  $i_1, i_2, \dots, i_p \in \{0, 1, \dots, 8\}$ ;  $1 \leq t \leq p$ ;  $1 \leq d \leq p$ .

\*\* Здесь и в дальнейшем удобно считать, что функционал  $\Phi_{c_j}$  зависит от всех кванторов фрейма  $F^{(p)}(A)$ , причем от некоторых, быть может, несущественно.

\*\*\* Поясним, что при такой подстановке  $t$ -й элемент вектора  $N_{A_i}^{(p)}$  занимает место  $t$ -го аргумента функционала  $\Phi_{c_j}$ .

Определение 3. Условимся, что поступок  $A_i$  «внутренни («внешне») явился совершением  $c_j$ -поступка, если

$$K_{c_j} | N_{A_i}^{(s)} = 1 \quad (K_{c_j} | N_{A_i}^{(o)} = 1).$$

Предположим, что описанная выше процедура обобщения позволила получить множество  $F_c = \{F_{c_j}\}_{j=1}^d$  фреймов-классификаторов поступков  $\{c_j\}_{j=1}^d$  категорий (мощность  $d$  этого множества, очевидно, конечна и будет тем больше, чем богаче язык фреймов, а также язык слов-категорий). Поставим теперь перед собой задачу расширить это множество до множества фреймов-классификаторов поступков, категории которых получают

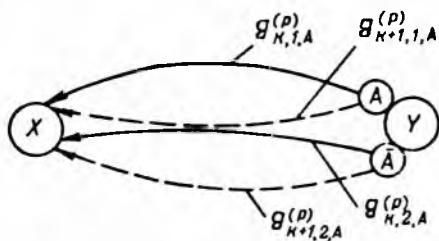


Рис. 3

чаются из множества  $\{c_j\}_{j=1}^d$  путем дополнения, отрицания и объединения этих категорий. Тогда мы сможем получить фреймы-классификаторы несовершенства благородных поступков, совершения неблагородных и самоотверженных поступков с чувством долга и т. д. Ниже введены соответствующие операции над фреймами-классификаторами из множества  $F_c$ , которые должны позволить получать фреймы-классификаторы совершения указанных поступков сложных категорий.

Пусть  $F_{c_j}$  — фрейм-классификатор совершения  $c_j$ -поступков  $K_{c_j} = \Phi_{c_j}(\mathfrak{B}_{1,1,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{2,1,A}^{(p)}, \dots, \mathfrak{B}_{16,1,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{1,2,A}^{(p)}, \mathfrak{B}_{2,2,A}^{(p)}, \dots, \mathfrak{B}_{16,2,A}^{(p)})$

**Операция дополнения:**  $\bar{F}_{c_j} = F_{c_j}^-$ , причем  $K_{c_j}^- = \Phi_{c_j}^-(\bar{\mathfrak{B}}_{1,1,A}^{(p)}, \bar{\mathfrak{B}}_{2,1,A}^{(p)}, \dots, \bar{\mathfrak{B}}_{16,1,A}^{(p)}, \bar{\mathfrak{B}}_{1,2,A}^{(p)}, \bar{\mathfrak{B}}_{2,2,A}^{(p)}, \dots, \bar{\mathfrak{B}}_{16,2,A}^{(p)})$ , где  $\bar{\mathfrak{B}}_{k,1,A}^{(p)} = \mathfrak{B}_{k,2,A}^{(p)}, \bar{\mathfrak{B}}_{k,2,A}^{(p)} = \mathfrak{B}_{k,1,A}^{(p)}$ .

**Операция отрицания:**  $\tilde{F}_{c_j} = F_{c_j}^-$ , причем

$$K_{c_j}^- = \Phi_{c_j}^-(\tilde{\mathfrak{B}}_{1,1,A}^{(p)}, \tilde{\mathfrak{B}}_{2,1,A}^{(p)}, \dots, \tilde{\mathfrak{B}}_{16,1,A}^{(p)}, \tilde{\mathfrak{B}}_{1,2,A}^{(p)}, \tilde{\mathfrak{B}}_{2,2,A}^{(p)}, \dots, \tilde{\mathfrak{B}}_{16,2,A}^{(p)})$$

где

$$\tilde{\mathfrak{B}}_{k,1,A}^{(p)} = \begin{cases} \mathfrak{B}_{k+1,1,A}^{(p)}, & \text{если } k \text{ — нечетное;} \\ \mathfrak{B}_{k-1,1,A}^{(p)}, & \text{если } k \text{ — четное.} \end{cases}$$

Очевидно,  $F_{c_j}^- (F_{c_j}^-)$  — фрейм-классификатор совершения некоторых  $\bar{c}_j$  ( $c_j$ -поступков, которые назовем несовершенством  $c_j$ -поступков (совершением не  $c_j$ -поступков). Очевидно,  $\bar{\bar{F}}_{c_j} = F_{c_j}, \bar{\tilde{F}}_{c_j} = F_{c_j}$

Проиллюстрируем обе операции. На рис. 3 изображен фрагмент фрейма-классификатора  $F_{c_j}$ , где  $X$  и  $Y$  — некоторые под

структуры соответственно личности и внешнего мира, такие, что допустимо воздействие  $Y$  на  $X$ . Четырем возможным подкреплениям, идущим от  $Y$  к  $X$ , приспаны кванторы, причем значение индекса  $k$  (очевидно,  $k$  — нечетно) зависит от конкретного вида  $X$  и  $Y$ . Тогда если

$$K_{c_j} = \Phi_{c_j}(\dots \mathfrak{A}_{k,1,A}^{(p)}, \mathfrak{A}_{k+1,1,A}^{(p)}, \dots, \mathfrak{A}_{k,2,A}^{(p)}, \mathfrak{A}_{k+1,2,A}^{(p)}, \dots), \text{ то}$$

$$K_{\bar{c}_j} = \Phi_{\bar{c}_j}(\dots \mathfrak{A}_{k,2,A}^{(p)}, \mathfrak{A}_{k+1,2,A}^{(p)}, \dots, \mathfrak{A}_{k,1,A}^{(p)}, \mathfrak{A}_{k+1,1,A}^{(p)}, \dots), \text{ а}$$

$$K_{\bar{c}_j} = \Phi_{\bar{c}_j}(\dots \mathfrak{A}_{k+1,1,A}^{(p)}, \mathfrak{A}_{k,1,A}^{(p)}, \dots, \mathfrak{A}_{k+1,2,A}^{(p)}, \mathfrak{A}_{k,2,A}^{(p)}, \dots).$$

Пусть  $F_{c_{j_1}}$  — фрейм-классификатор совершения  $c_{j_1}$ -поступков,  $F_{c_{j_2}}$  — фрейм-классификатор совершения  $c_{j_2}$ -поступков ( $j_1 \neq j_2$ ), а  $K_{c_{j_1}}$  и  $K_{c_{j_2}}$  — соответственно их классификаторы.

*Операция объединения:*  $F_{c_{j_1}} \cup F_{c_{j_2}} = F_{c_{j_1} \cup c_{j_2}}$ , причем  $K_{c_{j_1} \cup c_{j_2}} = K_{c_{j_1}} \& K_{c_{j_2}}$ .

В том случае, когда  $K_{c_{j_1}} \cup c_{j_2} \neq 0$ , очевидно  $F_{c_{j_1}} \cup c_{j_2}$  будет являться фреймом-классификатором совершения некоторых  $(c_{j_1} \cup c_{j_2})$ -поступков, которые назовем совершением  $(c_{j_1}$  и  $c_{j_2})$ -поступков.

Обозначим через  $[F_c]$  замыкание множества  $F_c$  относительно операций дополнения, отрицания и объединения. Пусть  $F_{c_{j_1}}, F_{c_{j_2}} \in [F_c]$ . Определим на множестве  $[F_c]$  отношение  $\geq$ :  $F_{c_{j_1}} \geq F_{c_{j_2}}$ , если  $K_{c_{j_1}} \rightarrow K_{c_{j_2}}$ . Очевидно, что это отношение является отношением частичного порядка и позволяет построить иерархию фреймов-классификаторов. Поскольку за иерархией последних стоит соответствующая иерархия категорий поступков, исследование свойств множества  $[F_c]$  представляет собой интерес и требует отдельного рассмотрения.

В заключение следует отметить, что настоящая статья является описанием лишь первых результатов, полученных в данном направлении исследования. В дальнейшем предполагается усовершенствовать язык описания поступков и методы анализа их структуры. С этой целью нами сейчас проводится исследовательская работа, основные аспекты которой следующие.

1. Введение в рассмотренные дополнительные связи, идущих от личности к подструктурам внешнего мира. Эти связи будут описывать характер и степень воздействия поступка на подструктуры внешнего мира. Для их представления используется тот же язык, что и для описания связей (подкреплений), идущих от внешнего мира к подструктурам личности.

2. Добавление к кванторам, оценивающим возможность установления отдельных связей, кванторов, определяющих их интенсивность, что позволит судить о возможности установления связей той или иной интенсивности.

3. Экспериментальное определение упорядоченности по значимости пар (возможность, интенсивность), описывающих опре-

деленную связь между подструктурами. Исследование зависимости вида этой упорядоченности от семантики связи.

4. Рассмотрение, наряду с «внутренним» и «внешним» фреймами поступка, также его результирующего фрейма, дающего описание последствий поступка. В отличие от «внутреннего» и «внешнего» фрейма поступка, в нем будут указаны не возможные, а уже установившиеся связи. Результирующий фрейм явится третьей составляющей в определении фрейма поступка.

5. Разработка аппарата комплексной классификации фреймов поступков, а не только их отдельных составляющих. Построение иерархии фреймов-классификаторов.

Автор благодарит профессора Д. А. Поспелова за постановку задачи и помощь при написании статьи.

*Поступила 13 марта 1979 г.*

УДК 62.506.2 : 612.821.3 : 331.015.11 : 007

*А. П. ИЛЬИНСКИЙ, Л. С. ИЛЬИНСКАЯ, А. В. КОРОП*

### **НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА. СООБЩЕНИЕ 3**

**Система фиксированных психологических установок для интенсификации продуктивного мышления.** Убыстряющийся темп научного развития, возрастание социального и политического веса науки в жизни человечества приводит не только к поискам способов изучения продуктивного мышления, но и к попыткам разработать практические методы «добывания» мыслительной продукции, такие как «брейн-шторминг» А. Осборна, «синектика» У. Гордона, ИПИД акад. В. В. Чавчанидзе [5,6]. Все эти методы являются, в конечном итоге, различными возмущающими воздействиями, призванными «вышибить» конструктора или изобретателя из порочного круга и побудить его к поискам других идей — хотя бы в собственном бессознательном.

Объединяющим во всех описанных способах форсирования творческого мышления является то обстоятельство, что передачей информации из бессознательного управляют косвенно, за счет различных приемов организации процедуры совещаний.

Каждая существенно новая мысль поднимается в сознание из бессознательного [1]. По-видимому, на этом пути существует своего рода фильтр, не пропускающий в сознание идеи и образы, далекие от доминирующего потока дискурсивного мышления. Из-за слишком жесткой работы этого фильтра ситуация творческого тупика зачастую возникает даже при наличии в бессознательном свежих идей.

Выяснилось, что очень полезно обойти работу фильтра и, минуя его, перемещать в сознание некоторые образы и идеи.

Для работы по методике «перемещения» у испытуемого формируется фиксированная психологическая установка, обеспечивающая осознание мысли или образа, на который укажет ему ведущий. Это делается под контролем «двухканального вывода» [3].

По-видимому, наши эксперименты показали эффективность «перемещения» даже в тех случаях, когда удачных идей не было заметно ни в дискурсивном, ни в бессознательном мышлении. «Перемещение» в сознание любого образа сразу вызывает у испытуемого целый фейерверк новых ассоциаций, будоражит его самым ощущением появления новых идей. Этот эмоциональный скачок обязательно выбивает из «тупиковых» ситуаций. В результате довольно быстро появляются новые продуктивные идеи. Этот эффект иллюстрирует следующий опыт.

**ОПЫТ.** Режим: «говорит сознание, рисует бессознательное». Испытуемый решал задачу № 37 [2, с. 65]: «Зставьте слово, которое обозначало бы то же самое, что и слова, стоящие вне скобок — ГРИМАСА (. . .) СНАРЯД».

Поскольку испытуемый оказался спортсменом, его дискурсивное мышление упорно билось в тупиковом варианте, перебирая спортивные снаряды. Эти же снаряды были в бессознательных зарисовках, перемежаясь с другими образами, отсутствовавшими в сознании.

Итак, ни в сознании, ни в бессознательных зарисовках не было ничего такого, что хотя бы отдаленно напоминало решение. Однако как только ведущий «переместил» в сознание испытуемого образ бессознательно нарисованной им гранаты — сразу же возник всплеск ассоциаций: Граната! А может быть, как на войне? Тогда граната — снаряд. «Гранатомет! Миномет! МИНА!»

Субъективно испытуемый переживает каждый момент такого «перемещения», как инсайт.

Недостатком методики «перемещения» является то обстоятельство, что ведущий может пропустить в потоке бессознательных зарисовок образ, который мог бы вызвать генерацию существенного инсайта. Этот недостаток частично преодолен в методике «внутреннее перемещение». Для ее реализации у испытуемого формируется фиксированная психологическая установка, обеспечивающая автоматическое перемещение в сознание образов, существенных для данной проблемы. Таким образом, создается обходной (минующий обычный фильтр) путь со своим фильтром, имеющим какой-то иной критерий.

В результате методики «внутреннее перемещение» оказалось возможным в одиночку генерировать идеи — либо непосредственно используя погружение в ОССП, либо задав себе в ОССП отсроченное внушение, реализация которого происходила бы во время естественного ночного сна. Итак, важным достоинством этой методики является независимость испытуемого от ведущего, т. е. переход от гетеросуггестивной к аутосуггестивной методике.

Для интенсификации творческого мышления также оказалось полезным вызывать «вспышки пережитого» моментов времени, когда у испытуемого возникало несколько идей одновременно. Для этого достаточно отметить интересный момент по методике «разветвления», после чего можно обдумать одну из идей, написать заключение и произвести «восстановление». В результате испытуемому начинает казаться, что как только у него возникает несколько идей одновременно, сразу само собой появляется заключение об одной из них, так что можно сразу переходить к рассмотрению оставшихся.

Во многих случаях также оказывается целесообразным применение методик «прерывания». Например, если понадобилось сделать некоторые выкладки, но нежелательно отвлекаться, можно сформулировать себе задание, дать команду «СТОП», выполнить выкладки, выписать результат и, наконец, скомандовать «ПУСК». После этого произошедшее субъективно воспринимается как внезапное появление результатов, которые были необходимы.

Методика «прерывания» также весьма эффективно может применяться в системе ИПИД [6], в результате чего оказывается возможным совместить в одном лице троих: ИСПЫТУЕМОГО, ОППОЗИЦИЮ и ЭКСПЕРТА. В обычном состоянии такое совмещение мешает системе психоинтеллектуальной генерации. ОСЦИ позволяет преодолеть эту трудность, так как после получения заключения ЭКСПЕРТА или ОППОЗИЦИИ, амнезируется тот факт, что в этих ролях выступал сам ИСПЫТУЕМЫЙ. Субъективно для ИСПЫТУЕМОГО благодаря применению «прерывания» время не претерпевает разрыва, а лишь как бы извне появляется оценка других участников совещания.

Аналогично применение этой методики для «брейн-шторминга» в **Системе фиксированных психологических установок в диалоговых системах «человек-машина»**. В диалоговых системах всегда узким местом является канал связи между человеком и машиной. Причина состоит в том, что человек и машина «думают» на разных языках, и нужен некий промежуточный язык, понятный для обоих, на перевод которого приходится тратить время и ресурсы человеку и машине. Информация, проходящая от машины к человеку, должна иметь вид осмысленных фраз или изображений, а информация от человека к машине — достаточно длинных (для их мнемоничности) сообщений. На это приходится затрачивать много ресурсов во всех пунктах системы.

На перевод с внутреннего машинного кода в предъявляемый человеку изображения и, наоборот, на перевод мнемоничных слов-кодов нужно много времени процессора, а на хранение шаблонов — много оперативной памяти. С другой стороны, также желательно попытаться сэкономить время, затрачиваемое оператором на сознательное восприятие зрительной информации с дисплея или пультовой пишущей машинки и перекодирование в свой внутренний язык (т. е. осмысливание).

Человеческий язык всегда намного избыточнее машинного. Избыточность промежуточного языка — средняя между ними. Чем менее избыточным станет промежуточный язык, тем эффективнее его реализует машина. Однако существует некая нижняя граница избыточности, ниже которой язык становится неудобным для человека, ибо требует от него слишком больших усилий.

Проведенные исследования показали, что трудности могут быть значительно снижены, если оператор находится в ОССП. Часть лишней работы по перекодировкам тогда можно возложить на фиксированные психологические установки. Состав библиотеки таких установок можно гибко подгонять к составу программного и аппаратного обеспечения ЭЦВМ, с которой работает оператор.

Простейшее, чего легко достичь — это возможность работы с малоизбыточным промежуточным языком. Психологическая установка перевода преобразует краткие сообщения машины в достаточно длинные и понятные, а также представляет их в галлюцинозной форме. Таким образом, оператор «видит» вполне читаемые слова, а о существовании сверхсокращенных первоначальных сообщений может даже не знать. Обратная передача информации также убыстряется и становится более удобной для оператора и машины. Это осуществляет фиксированная психологическая установка, которая стереотипные решения оператора преобразует в соответствующие действия его пальцев на клавиатуре терминала. С точки зрения оператора в этих стандартных случаях машина как бы «читает его мысли».

Другое возможное направление использования ОССП — это формирование фиксированных психологических установок, преобразующих сообщение машины в галлюцинации, наиболее удобные для операторов. Например, изображение на дисплее можно набирать дополнительными знаками, кодирующими цвет и объем, в соответствии с которыми психологическая установка преобразует плоское черно-белое изображение в объемную цветную галлюцинацию. Целесообразно использовать галлюцинации самой различной сенсорной природы: слуховые, обонятельные, вкусовые, тактильные. За счет многообразия форм представления достигается значительное увеличение пропускной способности канала «машина — сознание оператора».

Удобно также подобрать для сообщений машины сенсорную форму, наиболее естественную для требуемых реакций. Например, на имеющейся технической базе ЭВМ без какой-либо ее переделки, используя ОССП можно сделать так, чтобы сообщение о неготовности некоторого внешнего устройства оператор «услышал» в виде его крика: «Я не готов!» и «увидел» его свечение.

Дополнительным преимуществом работы оператора в ОССП является возможность использования «вспышек пережитого» для восстановления потерянной информации. Это существенно, например, при работе на выносном пульте систем разделения времени, которые обычно не имеют быстродействующих печатающих уст-

ройств. Информация, вытесняемая с экрана дисплея такого терминала обычно теряется, хотя иногда может возникнуть потребность в ее последующей обработке, в частности при анализе отладочных выдач.

Иными словами, на дисплее идет огромная выдача, на 90% ненужная, но какие 10% потребуются — становится ясно лишь потом. Вот тут и выручает ОССП, ибо можно «вернуться» в прошлое и «увидеть» нужную информацию, которая была в том прошлом на экране дисплея.

Однако, наиболее существенная возможность, предоставляемая ОССП в системах «человек-машина» — повышение надежности за счет преодоления последствий монотонии, а также путем повышения готовности оператора к экстренным действиям, т. е. вследствие повышения бдительности. Для человека-оператора в ОССП при помощи соответствующей фиксированной психологической установки любая однообразная работа или оперативная пауза оказывается наполненной глубоким внутренним содержанием и сопровождается положительными эмоциями.

**Универсальная открытая система фиксированных психологических установок.** Все описанные выше системы являлись полностью закрытыми, т. е. не допускали формирования новых психологических установок самими пользователями, не говоря о дополнении новыми фиксированными самой системы. В тех случаях, когда пользователь много работает с системой самостоятельно и когда невозможно заранее полностью предсказать направление этой работы, возникает необходимость создания открытой системы, т. е. системы, содержащей возможность расширения.

Ниже описывается скелетная часть такой системы, включающая фиксированные психологические установки, предназначенные для формирования новых, и набор аварийных и сервисных психологических установок. Рабочие психологические установки пользователь формирует сам, причем есть возможность включения их в систему. Система представляет следующие возможности.

1. «ВКЛЮЧЕНИЕ» — погружение в ОССП и актуализация основной фиксированной психологической установки, а также «ВЫКЛЮЧЕНИЕ» — возвращение в обычное состояние.

2. Фиксирование мгновенного состояния психики на организованном специальной психологической установкой «регистрации восстановления» (РВ), восстановление содержимого психики на РВ. По сути это модификация методики «разветвления».

3. Анализ содержимого РВ и внесение в него изменений, что позволяет, в частности, формировать новые психологические установки одноразового использования.

4. Возможность помещать, снабдив именем, содержимое РВ в архив состояний (АС), также организованный фиксированной психологической установкой, и вызывать по имени запись одного состояния из АС на РВ.

5. Гибко диагностировать собственное состояние и природу внешних объектов.

6. Отключать действие всех временных психологических установок с возможностью продолжения прерванной таким образом деятельности.

**Подробнее о системе диагностики.** Пользователь всегда должен уметь определить, в каком состоянии он находится: в обычном или ОССП, и — в последнем случае — уметь отличить реальные объекты внешнего мира от галлюцинаторных. Эту диагностику обеспечивают тест-галлюцинации: на всем протяжении работы в ОССП на руке светятся буквы «ОССП». На каждой галлюцинации также стоит клеймо «ОССП», а в случае отрицательных галлюцинаций такое клеймо висит на месте реального объекта. Для распознавания нестандартных ситуаций на галлюцинаторном «световом табло» возникают соответствующие диагностические надписи.

**Прерывание.** Условие возникновения прерываний пользователь задает сам себе заранее. Однако несколько условий встроены в систему жестко. Это — возникновение сильных физиологических потребностей, обращение со стороны, ошибка в употреблении системных команд и истечение контрольного времени с момента последнего прерывания. Во время прерывания происходит генерация команд: «ЗАФИКСИРОВАТЬ» (т. е. занести текущее состояние на РВ), «ОТКЛЮЧИТЬ ВРЕМЕННЫЕ УСТАНОВКИ». После этого пользователь принимает меры по устранению причин, вызвавших прерывание (например, если причиной явилась собственная ошибка, то можно изменить содержимое РВ), затем, скомандовав себе «ВОССТАНОВЛЕНИЕ», можно продолжить работу.

Для внесения изменений в комплект системных психологических установок пользователь командует: «ОТКРЫТЬ СИСТЕМУ», после чего производит любые коррекции, формирующие новые или разрушающие старые системные психологические установки. Пакет изменений завершается командой: «ЗАКРЫТЬ СИСТЕМУ». Между этими двумя командами блокируется выполнение всех остальных системных команд и психологических установок, в том числе и диагностических вместе с аппаратом прерываний. Поэтому все действия при открытой системе должны быть тщательно продуманы, а изменения по возможности заранее опробованы.

По команде «ВКЛЮЧЕНИЕ», погружаясь в ОССП, пользователь попадает в прерывание. На «световом табло» горит надпись — «НАЧАЛО РАБОТЫ». На РВ занесено состояние психики, которое было перед включением. Если пользователь хочет к нему вернуться в дальнейшем, это содержимое РВ надо отправить в АС.

По команде «ВЫКЛЮЧЕНИЕ», помимо исчезновения ОССП, происходит восстановление состояния, находящегося в этот

момент на РВ. Поэтому если пользователь пожелает не только восстановить свое состояние до включения, а к тому еще помнить, что он делал во время работы в ОССП, необходимо по заботиться об этом, соответственно сформировав содержимое РВ.

Например, пользователю В. систему ставили в 2 этапа. Для того, чтобы исключить «баловство» с некомплектной системой после первого этапа ему была внушена амнезия. Когда система была поставлена полностью, пользователю предложили самостоятельно снять амнезию. Это он сделал такой последовательностью команд: «ВКЛЮЧЕНИЕ! ИЗМЕНЕНИЕ! Я БУДУ ПОМНИТЬ ВСЕ, ЧТО БЫЛО СО МНОЙ В ПРОШЛЫЙ РАЗ, А ТАКЖЕ И ТО, КАК Я СНИМАЛ АМНЕЗИЮ. КОНЕЦ ИЗМЕНЕНИЯ! ВЫКЛЮЧЕНИЕ!» Отметим, что если не добавка для запоминания о снятии амнезии, этот этап остался бы за пределами РВ а, следовательно, после восстановления при включении сам бы амнезирова́н. В результате пользователю казалось бы, что воспоминание произошло само собой.

**Установочное моделирование.** Одним из весьма продуктивных приемов умственного труда является мысленный эксперимент. Его положительные качества: высокая наглядность результата, простота и оперативность проведения, возможность вмешиваться по ходу дела, возможность работы с качественными и неформальными моделями. Однако несмотря на все эти преимущества в сколько-нибудь сложных ситуациях мысленным экспериментом не пользуются, так как из-за невозможности работы с мысленной моделью объем информации, которая должна одновременно учитываться, превышает емкость внимания.

В таких случаях мысленный эксперимент обычно заменяют машинным, что, помимо затрат на программирование и отладку программ, в свою очередь, часто приводит и к принципиальным трудностям. Действительно, качественную и неформальную модель приходится формализовать и «доукомплектовывать» количественными характеристиками. А поскольку это обычно приходится делать почти наугад, модель зачастую оказывается в значительной степени испорченной.

Для проведения мысленных экспериментов со сложными моделями удобно ОССП. Нами показано, что мысленную модель нетрудно превратить в систему фиксированных психологических установок, которые работают сами по себе, оставляя сознанию истинно подобающую для него роль: наблюдать, думать, управлять. Причем, воспользовавшись расширением объема внимания и также галлюцинаторной формой восприятия хода опыта, можно резко повысить наглядность мысленного эксперимента. Кроме того можно «отождествить» себя с любой относительно самостоятельной структурой модели и, таким образом, из наблюдателя превратиться в участника событий.

При разработке систем искусственного интеллекта и систем управления такой подход позволяет гибко сочетать обычные

методы разработок с бионикой: например, соображения для разработки блок-схемы, в случае удачного исхода мысленных опытов с ее установочной моделью, можно извлечь из памяти испытуемого, проводившего мысленный эксперимент.

Значительная доля мысленного эксперимента в таких процессах как конструирование, поиск неисправностей и наладка сложных систем, отладка программ. Методика «установочного моделирования» была успешно опробована при конструировании двухсторонних печатных плат, поисках неисправностей ЭВМ, настройке телевизоров, а также при отладке некоторых программ.

**Заключение.** Описанные результаты получены в ходе исследований, проводившихся без применения технических средств для получения и поддержания необходимого психофизиологического состояния испытуемых.

Приходилось специально отбирать людей на роль испытуемых и ведущего. Критерием отбора испытуемых служит максимальная гипнабельность, так как выяснилось, что способность к ОССП и гипнабельность сильно коррелируют. В итоге на роль испытуемых оказывается подходящим, в лучшем случае, один из десяти.

Возможность быть достаточно эффективным ведущим встречается еще реже, ибо, видимо, требуется наличие психоэнергетических способностей и способности к глубокой психической саморегуляции [7]. К тому же каждый эксперимент требует от ведущего большой затраты сил, так что его «пропускная способность» оказывается малой.

Таким образом, дальнейшее развитие исследований ОССП настоятельно требует разработки тренажеров, предназначенных для получения, поддержания и контроля ОССП у любого человека без предварительного отбора. Такая система может, например, представлять комплекс биотехнических средств для тренировки психофизиологического состояния по многомерным сенсорным критериям, подаваемым по цепям биологической обратной связи, в том числе по субсенсорным каналам, например при помощи специальной модуляции акустических, электростатических и электромагнитных полей [4].

Следует также отметить, что хотя авторами во всех трех сообщениях использовались некоторые термины из области вычислительной техники, это не должно восприниматься как какая-то ЭВМ-гипотеза работы мозга, а лишь как один из многих методологических приемов исследования и повышения эффективности интеллектуальной деятельности.

Описанные во всех трех сообщениях применения особого суггестивного состояния, отличающегося наивысшей ясностью сознания, позволяют надеяться на некоторый прогресс как в бионических аспектах проблемы искусственного интеллекта, так и в совершенствовании естественного человеческого интел-

лекта, для исследований психологических механизмов формирования мыслительных операций и понятий в процессе обучения что может быть использовано для создания семиотических человеко-машинных систем обучения, систем управления познавательной деятельностью и творчеством.

Список литературы. 1. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретений в области математики. М., Соврадио, 1970. 150 с. 2. Айзенк Г. Проверьте свои способности. М., Мир, 1972. 176 с. 3. Ильинский А. Ильинская Л. С., Короп А. В. Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека. Сообщения 1,2.— В кн.: Проблемы биологии. Харьков, 1979, вып. 23, с. 110—116; 1980, вып. 24. 4. А. с. 160776 (СССР) Устройство для реализации систем биологической обратной связи/ А. П. Ильинский, И. И. Кухтевич.— Бюл. изобретений СССР, 1964, № 5, с. 15. 5. Платт В. Информационная работа стратегической разведки. М., ИЛ, 1974, 341 с. 6. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Психологическое программирование /Под ред. В. В. Чавчанидзе. Тбилиси, Мецниери, 1974. 369 с. 7. Ромен А. С. Психоэнергетическая активность и ее внутреннее и внешнее проявление.— В кн.: Психическая саморегуляция. Алма-Ата, 1979, вып. 2, с. 301—311.

Поступила 1 ноября 1978

УДК 518.74

Ю. А. ВАСИЛЕНКО, канд. техн. наук, И. П. КОССЕЙ

### АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ВСЕХ ТУПИКОВЫХ ТЕСТОВ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ

Как известно [1, 2], основная трудность нахождения во тупиковых тестах обучающей выборки (ОВ) связана со значительным перебором\*, поэтому необходимы такие алгоритмы поиска тупиковых тестов, в которых бы этот недостаток отсутствовал (хотя бы частично).

В данной работе предложен алгоритм построения всех тупиковых тестов ОВ. В нем перебор значительно уменьшается сравнению с известными алгоритмами [1, 2] за счет сравнительно быстрого нахождения нетестовых групп признаков максимальной длины, что позволяет исключить из общего перебора группы признаков, являющиеся различными сочетаниями признаков, входящих в найденные нетестовые группы.

В основе алгоритма лежит применение некоторых функций, вычисляемых непосредственно по ОВ, для определения тестовости группы признаков  $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$  ( $1 \leq \gamma \leq n$ )\*\*:

$$W(x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}) = \frac{1}{h} \sum_{\Delta \in \Gamma} \max_m B_{\Delta}^m,$$

\* По данным из [2] увеличение в матрице  $(m \times k) = (12 \times 30)$   $m$  или  $k$  единицу удваивает машинное время.

\*\* Объекты ОВ — наборы  $x_1, \dots, x_n$ ;  $x_i \in \{0, 1\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

где  $\Delta = t_1 t_2 \dots t_\gamma$  ( $0 \leq t_j \leq 1$ ,  $j = 1, 2, \dots, \gamma$ ) — произвольный набор признаков;  $\Gamma$  — множество всех различных наборов  $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$ ;  $B_\Delta^m$  — количество наборов ОВ из класса  $m$  ( $m=0, 1$ ), для которых  $x_i = t_j$  ( $j = 1, 2, \dots, \gamma$ ;  $1 \leq \gamma \leq n$ );  $h$  — количество наборов в ОВ. Если  $W(x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}) = 1$ , группа признаков  $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$  представляет собой тест [3]. В дальнейшем предполагается, что классы ОВ не пересекаются, их всего два, т. е. ОВ приведена к допустимому виду [1, 2].

Используя идею метода нахождения тестов на основе (1), можно предложить для его машинной реализации следующий алгоритм нахождения всех тупиковых тестов.

Вход. Обучающая выборка.

Выход. Множество  $Y$  всех тупиковых тестов ОВ.

Далее предполагается, что в нашем распоряжении имеется алгоритм, который проверяет, является ли набор  $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$  ( $1 \leq \gamma \leq n$ ) тестом для данной ОВ, т. е. алгоритм, вычисляющий (1). Порядок переменных в наборах ОВ несуществен, поэтому при изложении алгоритма будем считать их множествами.

*Шаг 1.* Формирование всех возможных наборов признаков  $x_1, \dots, x_n$  длины  $n - 1$ :

$$\alpha_1 = x_2 x_3 \dots x_n; \alpha_2 = x_1 x_3 \dots x_n; \dots; \alpha_n = x_1 x_2 \dots x_{n-1}.$$

Множество наборов  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  обозначим через  $X$ .

*Шаг 2.* Среди наборов множества  $X$  при помощи алгоритма, вычисляющего (1), находим наборы, которые являются тестовыми. Если множество  $X_1$  ( $X_1 \subset X$ ) тестовых наборов пусто, включаем в множество  $Y$  единственный тривиальный тупиковый тест  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и на этом работа алгоритма заканчивается. В противном случае — переход к шагу 3.

*Шаг 3.* Получается множество  $X_2$ , которое в начале выполнения этого шага предполагается пустым. Если множество  $X_1$  содержит один набор  $\alpha_i$ , включаем его в  $Y$ , и алгоритм заканчивает работу. В противном случае для каждой пары  $(\alpha_i, \alpha_j)$ ,  $\alpha_i, \alpha_j \in X_1$ ,  $|\alpha_i \cap \alpha_j| = |\alpha_i| - 1$  ( $|\alpha_i|$  означает длину набора  $\alpha_i$ ) составляем набор  $\beta_{ij} = \alpha_i \cap \alpha_j$ . Проверяем при помощи алгоритма  $W$ , вычисляющего (1), является ли набор  $\beta_{ij}$  тестом. Если  $\beta_{ij}$  — тест, отмечаем наборы  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  специальным признаком  $p$ , а  $\beta_{ij}$  включаем в множество  $X_2$ . Переходим к четвертому шагу.

*Шаг 4.* Просматриваем наборы  $\alpha_1, \dots, \alpha_k$ , которые были исходными на третьем шаге. Если набор  $\alpha_i$  отмечен хотя бы один раз признаком  $p$  в шаге 3, он исключается из дальнейшего рассмотрения. В противном случае, набор  $\alpha_i$  включаем в множество тупиковых тестов и в дальнейшем также исключаем из рассмотрения. Если множество  $X_2$ , полученное на шаге 3, пусто, алгоритм заканчивает работу. В противном случае, переходим к шагу 3, принимая там в качестве множества  $X_1$  множество  $X_2$ , полученное в результате предыдущего выполнения шага 3.

N	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	Класс
1	0	0	1	0	1	1	$A_1$
2	1	0	1	0	0	1	
3	1	0	1	0	1	1	
4	0	0	1	0	0	1	
5	1	0	1	0	1	0	
6	1	0	0	0	0	1	
7	0	0	0	1	1	0	$A_2$
8	0	1	0	1	0	0	
9	1	1	0	1	0	0	
10	1	1	0	1	1	0	
11	0	1	0	0	0	0	
12	0	1	1	1	0	0	
13	0	1	0	1	1	0	
14	0	0	0	1	0	1	
15	0	0	0	1	0	0	
16	0	0	1	1	1	0	
17	1	0	0	1	1	1	
18	1	1	0	1	0	1	
19	1	1	1	1	0	0	
20	1	1	1	1	0	0	
21	0	1	0	1	0	1	

Пример из [4, с. 143]: ОВ состоит из двух классов  $A_1$  и  $A_2$  (см. таблицу). После выполнения первого и второго шагов алгоритма видно, что все группы признаков  $n - 1 = 5$  являются тестовыми. После трехкратного выполнения 3-го и 4-го шагов получаем все типовые тесты заданной ОВ: длины 5 —  $x_1x_2x_3$ ,  $x_4x_5x_6$ , длины 3 —  $x_4x_5x_6$ ,  $x_1x_3x_4$ ,  $x_1x_4x_6$ ,  $x_3x_4x_6$ , длины 2 —  $x_1x_2$ .

В приведенном примере из 62-х групп признаков  $\left(\sum_{k=1}^5 C_6^k\right)$  по рассмотренному алгоритму проверялось на тестовость только 28 групп, т. е. вдвое меньше числа всех групп.

Рассмотренный алгоритм можно применять и в случае,

когда  $x_i \in \{0, 1, \dots, k_i - 1\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), а количество классов ОВ больше двух [3].

Список литературы: 1. Яблонский С. В. Тесты. Энциклопедия кибернетики, т. 2. Киев. Укр. Сов. энциклопедия, 1975, с. 431—432. 2. Кренделев Ф. П., Кренделев С. Ф. Эвристические методы в геологии. М., Наука, 1977. 152 с. 3. Василенко Ю. А., Пряницкий А. М. Об оценке важности информационных признаков при распознавании дискретных наборов. — Управляющие системы и машины, 1972, № 2, с. 38—40. 4. Геология и математика. Новосибирск, Наука, 1970. 224 с.

Поступила 21 сентября 1978

УДК 621.397 : 62—52

Е. П. ПУТЯТИН, д-р техн. наук, О. М. АБРАМОВ, С. О. ХОМИЦКИЙ,  
канд. техн. наук

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ НОРМАЛИЗАЦИИ КОНЕЧНОГО РАНГА ДЛЯ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Предпринимается попытка предложить систематический подход к построению нормализаторов смещений плоских изображений.

Пусть  $B_1(x, y)$  — некоторое распределение яркости объекта слежения, например, визуальная характеристика его проекции на плоскость телевизионного датчика.

Непрерывный оператор  $F$ , определенный в окрестности распределения  $B_1(x, y)$ , является оператором нормализации смещений [1], если:

$$F: B(x, y) \rightarrow B(x + \Phi_1(B), y + \Phi_2(B)), \quad (1)$$

где  $B[x + \Phi_1(B), y + \Phi_2(B)] = B_0(x, y)$  — эталонное изображение,  $\Phi_1(B)$ ,  $\Phi_2(B)$  — некоторые вещественные непрерывные, нелинейные функционалы в пространстве изображений  $B$ .

В работе [2] показано, чтобы оператор (1) был нормализующим, необходимо и достаточно выполнение условия:

$$\Phi_1(B) - \Phi_1(B_0) = \alpha_1; \quad (2) \quad \Phi_2(B) - \Phi_2(B_0) = \alpha_2, \quad (3)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  — параметры смещения эталона  $B_0$ . Очевидно, не всякий вещественный непрерывный функционал удовлетворяет условиям (2), (3).

Полученные эмпирическим путем в работе [2] функционалы логарифмического центра изображения и оптического центра тяжести удовлетворяют условиям (2), (3), однако являются функционалами частного вида.

В общем виде  $\Phi(B)$  могут быть представлены следующим образом:

$$\Phi_1(B) = \Psi_1(t_1, \dots, t_r); \quad (4) \quad \Phi_2(B) = \Psi_2(\tau_1, \dots, \tau_s), \quad (5)$$

где  $\Psi_1, \Psi_2$  — вещественные непрерывные функции соответственно  $r$  и  $s$  переменных, определенные и дифференцируемые в окрестности точек

$$t_i = \iint_D B_0(x, y) k_i(x) dx dy, \quad (6) \quad \tau_j = \iint_D B_0(x, y) k_j(y) dx dy. \quad (7)$$

В этом случае оператор нормализации имеет вид:

$$F: B \rightarrow B[x + \psi_1(t_1, \dots, t_r), y + \psi_2(\tau_1, \dots, \tau_s)]. \quad (8)$$

В данной работе излагается метод, согласно которому для построения оператора  $F$  в виде (8) отыскиваются семейства функций  $k_1, \dots, k_r$ ;  $k_1, \dots, k_s$  для (6), (7) и функций  $\psi_1, \psi_2$  таким образом, чтобы удовлетворялись условия (2), (3) для  $\Phi_1(B)$  и  $\Phi_2(B)$  из выражений (4), (5).

*Определение. Оператор, представленный в виде (8), назовем оператором нормализации смещений конечного ранга.*

Будем считать, что функции  $k_1, \dots, k_r$  и  $k_1, \dots, k_s$  — линейно независимы. В этом случае ранг оператора равен  $r + s$ .

В дальнейшем, с целью сократить математические выкладки, будем рассматривать только операторы ранга  $r$ , считая при этом, что все рассуждения справедливы также для операторов ранга  $s$  и  $r + s$ . Это возможно, поскольку смещения изображений  $B_0$  по осям  $x$  и  $y$  являются независимыми друг от друга.

**Теорема 1.** Если  $F$  — оператор нормализации ранга  $r$  и  $k(x) = \begin{pmatrix} k_1 \\ \vdots \\ k_r \end{pmatrix}$  — вектор-столбец, существует матрица  $\pi(\alpha_1)$  порядка  $r$  для которой

$$k(x + \alpha_1) = \pi(\alpha_1) k(x). \quad (1)$$

Доказательство. Если  $\Phi(B) = \psi(t_1, \dots, t_r)$  и  $\delta(B(x, y))$  — финитная гладкая функция, то [3]:

$$\Phi(B + \delta) = \Phi(B) + \sum_i \frac{\partial \psi(t_1, \dots, t_r)}{\partial t_i} \iint_D k_i(x) \delta dx dy + O(\delta). \quad (10)$$

Сумма в правой части (10) дает основной вклад в  $\Phi(B + \delta)$  при малых  $\delta$  и линейна по  $\delta$ , поэтому ее называют главной линейной частью, дифференциалом  $\Phi$ . Обозначим эту сумму  $\Phi_*(B, \delta)$ . Тогда

$$\Phi(B + \delta) = \Phi(B) + \Phi_*(B, \delta) + O(\delta). \quad (11)$$

Используя равенство (2), перейдем к уравнению в вариациях

$$\Phi[B(x - \alpha_1, y) + \delta(B(x - \alpha_1, y))] = \Phi[B(x, y) + \delta(B(x, y))] + \alpha_1. \quad (12)$$

Из уравнения (12) следует:

$$\begin{aligned} \Phi[B(x - \alpha_1, y)] + \Phi_*[B(x - \alpha_1, y), \delta(B(x - \alpha_1, y))] + O(\delta) = \\ = \Phi[B(x, y)] + \Phi_*[B(x, y), \delta(B(x, y))] + O(\delta) + \alpha_1, \end{aligned}$$

или

$$\Phi_*[B(x - \alpha_1, y), \delta(B(x - \alpha_1, y))] - \Phi_*[B(x, y), \delta(B(x, y))] = 0. \quad (13)$$

Таким образом, первая вариация функционала  $\Phi$  инвариантна относительно сдвигов. Следовательно, уравнение (13) может быть переписано так:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^r \frac{\partial \psi[t_1(B(x - \alpha_1, y)), \dots, t_r(B(x - \alpha_1, y))]}{\partial t_i(B(x - \alpha_1, y))} k_i(x + \alpha_1) = \\ = \sum_{i=1}^r \frac{\partial \psi[t_1(B(x, y)), \dots, t_r(B(x, y))]}{\partial t_i(B(x, y))} k_i(x). \end{aligned} \quad (14)$$

Выберем  $B_1, \dots, B_r$ , так, что

$$\det \left| \frac{\partial \psi[t_1(B_i), \dots, t_r(B_i)]}{\partial t_i(B_i)} \right| \neq 0.$$



Следовательно,

$$\pi(\alpha_1) = e^{A\alpha_1} \quad \text{и} \quad k(x + \alpha_1) = e^{A\alpha_1} k(x);$$

в последнем выражении при  $x \rightarrow 0$  и  $\alpha_1 \rightarrow x$  получим  $k(x) = e^{Ax} k(0)$ .

Следовательно,

$$\frac{dk(x)}{dx} = Ak(x). \quad (18)$$

Следствие теоремы 1 доказано.

Получим уравнение для  $\psi$ . Согласно условию (2) имеем

$$\begin{aligned} & \psi[t_1(B(x, y)), \dots, t_r(B(x, y))] + \alpha_1 = \\ & = \psi[t_1(B(x - \alpha_1, y)), \dots, t_r(B(x - \alpha_1, y))]. \end{aligned} \quad (19)$$

Продифференцируем уравнение (19) по  $\alpha_1$ . Используя дифференциальные уравнения (17) для  $k$ , получим

$$\sum_i \frac{\partial \psi}{\partial t_i} \sum_j a_{ij} t_j = 1, \quad (20)$$

где

$$t_i = \iint_D B(x, y) k_i(x) dx dy; \quad t_j = \iint_D B(x, y) k_j(x) dx dy;$$

$a_{ij}$  — коэффициенты разложения матрицы  $A$ .

В полученной системе уравнений начальные условия для  $\psi$  и  $k$  определяются выбором соответствующих значений  $\Phi(B_0)$ . Результаты позволяют сформулировать метод построения операторов нормализации конечного ранга для центрирования изображений, который состоит в следующем. Выбираются две матрицы  $A_1$  и  $A_2$  соответственно порядка  $r$  и  $s$ . Определяются семейства функций  $k_1, \dots, k_r; k_1, \dots, k_s$ , удовлетворяющие дифференциальному уравнению (18). Определяются функции  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , удовлетворяющие дифференциальному уравнению (20). Выбором  $\Phi_1(B_0)$  и  $\Phi_2(B_0)$  из условий (2), (3) задаются начальные условия для  $\psi$  и  $k$ . После этого оператор нормализации строится по формуле (8).

**Пример 1.** Построим оператор нормализации для смещений ранга  $r + s$ . Пусть  $r = s = 1$ , тогда  $A_1 = a_1; A_2 = a_2$ . Уравнения (17) запишутся следующим образом:

$$\frac{dk(x)}{dx} = a_1 k(x); \quad \frac{dk(y)}{dy} = a_2 k(y).$$

Итак,

$$k(x) = c_1 e^{a_1 x}, \quad k(y) = c_2 e^{a_2 y}.$$

Функции  $\psi(t_1, \dots, t_r)$  и  $\psi(\tau_1, \dots, \tau_s)$  должны удовлетворять уравнениям (20):

$$\frac{d\psi}{dt} a_1 t = 1; \quad \frac{d\psi}{d\tau} a_2 \tau = 1.$$

Следовательно,

$$\psi(t) = \frac{1}{a_1} \ln t + c_3; \quad \psi(\tau) = \frac{1}{a_2} \ln \tau + c_4.$$

Зададим начальные условия:  $\Phi_1(B_0) = \Phi_2(B_0) = 0$ . Тогда

$$\frac{1}{a_1} \ln c_1 \iint_D B_0(x, y) e^{a_1 x} dx dy + c_3 = 0;$$

$$\frac{1}{a_2} \ln c_2 \iint_D B_0(x, y) e^{a_2 y} dx dy + c_4 = 0.$$

Так как  $\Phi(B_0) = 0$ , можно считать  $c_3 = 0, c_4 = 0$ . Тогда

$$c_1 = \frac{1}{\iint_D B_0(x, y) e^{a_1 x} dx dy}, \quad c_2 = \frac{1}{\iint_D B_0(x, y) e^{a_2 y} dx dy}.$$

Если  $c_1 = c_2 = 1$  и  $a = 1$ , приходим к известной формуле логарифмического центра, приведенной в работе [2]:

$$F: B \rightarrow B \left( x + \ln \iint_D B(x, y) e^x dx dy, y + \ln \iint_D B(x, y) e^y dx dy \right).$$

**Пример 2.** Пусть  $r = 2, A = \begin{vmatrix} 0 & a \\ -a & 0 \end{vmatrix}$ . Выполнив вычисления, аналогичные сделанным в примере 1, легко показать, что в этом случае

$$\Phi(B) = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{\iint_D B(x, y) \sin ax dx dy}{\iint_D B(x, y) \cos ax dx dy},$$

и оператор имеет вид

$$F: B \rightarrow B \left( x + \frac{1}{a} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\iint_D B(x, y) \sin ax dx dy}{\iint_D B(x, y) \cos ax dx dy}, y \right).$$

Этот оператор ранее известен не сл.л. Приведенными примерами далеко не исчерпываются возможные виды операторов нормализации смещений, которые могут быть получены в результате применения данного метода.

В заключение отметим, что предложенный метод представляет несомненный интерес для разработки новых видов операторов и их всестороннего исследования с целью повысить помехозащищенность, обеспечить простоту технической реализации и инвариантность неосновным преобразованиям изображений.

Список литературы: 1. *Путятин Е. П.* Теоретические предпосылки нормализации изображений.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1973, вып. 10, с. 82—89. 2. К вопросу о моделировании механизмов нормализации зрительных образов /*Е. П. Путятин, И. В. Шульгин, В. П. Юрченко, О. М. Абрамов.*— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1971, вып. 5, с. 102—106. 3. *Колмогоров А. Н., Фомин С. В.* Элементы теории функций и функционального анализа. М., Наука, 1976. 544 с. 4. *Беллман Р.* Введение в теорию матриц. М., Наука, 1976. 352 с.

Поступила 26 марта 1979 г.

УДК 537.868 + 612.014.426 + 615.47

*В. И. ЛОЩИЛОВ*, д-р техн. наук, *Г. Я. ГЕРЦИК*, *Ю. П. МИРОНЕНКО*  
канд. мат. наук

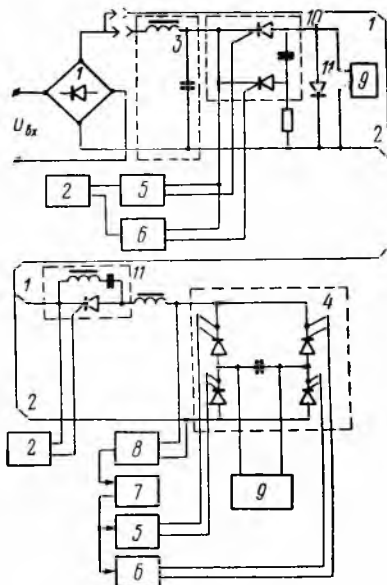
### УСТАНОВКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ МАГНИТОТЕРАПИИ

В медицинской практике все чаще применяют профилактические и лечебные способы воздействия на организм электромагнитными полями различной интенсивности и частоты. Наиболее значительные практические результаты в области магнитобиологии и магнитотерапии получены в 60-х годах нашего столетия [1, 3, 4 и др.]. Библиография по этой теме имеет более двух тысяч статей, брошюр, книг [5—6]. Наряду с постоянными магнитными полями [2] применяются постоянные и переменные электромагнитные поля [1, 2], которые позволяют осуществлять лечение и профилактику различных заболеваний, в частности опорно-двигательного аппарата, центральной нервной системы и др. [1, 2], без применения медикаментозных средств, с помощью только физических факторов. В области изучения влияния электромагнитных полей на биологические системы работают математики, физики, медики, биохимики и многие другие специалисты; данные их исследований находят широкое практическое применение. Наблюдается также тенденция к изучению влияния низкочастотных и инфранизкочастотных электромагнитных полей как импульсных, так и изменяющихся по синусоидальному закону. Предполагается, что наиболее эффективным при воздействии, например, на центральную нервную систему является магнитное поле напряженностью в 100 э и более [2]. Получение инфранизкочастотных импульсных полей, особенно синусоидальных, с напряженностью указанного порядка, возможностью обеспечения регулировки мощности и частоты связано с определенными техническими трудностями в реализации генератора инфранизких частот с необходимой мощностью [7] и в согласовании его с индуктивной нагрузкой.

Создание генератора для получения указанных полей при выходной мощности его более 50 Вт, в частности генератора для

олучения синусоидального поля с частотой от долей герца до 0—20 Гц обычным способом — посредством усиления сигнала задающего генератора линейным усилителем мощности — приводит к сложным и громоздким конструкциям. В статье описывается станция для создания переменных инфранизкочастотных электромагнитных полей (как источник тока), в которой используется генератор синусоидального и прямоугольного напряжения, собранный в соответствии с принципиальной электрической схемой, представленной на рисунке. По сравнению с аналогичными генераторами предлагаемый обладает более высоким коэффициентом полезного действия, достаточно прост в изготовлении и настройке.

Получение инфранизкой синусоиды регулируемой частоты основано на синтезе ее импульсов, частота которых определяется частотой задающего генератора и частотой сети, амплитуда — мгновенным напряжением сети в момент открывания тиристорного ключа 11. Схема, осуществляющая получение инфранизкочастотной синусоиды, содержит выпрямитель 1, задающий генератор 2 (любой релаксационный генератор с регулируемой частотой), последовательно включенные фильтр 3 и двухполярный тиристорный ключ 4, управляющие входы которого подключены к выходам усилителей-формирователей 5, 6. Сигнал с усилителей-формирователей снимается всякий раз при переключении триггера 7, соединенного со схемой выделения нуля 8. Работа данного генератора синусоидального напряжения заключается в том, что выпрямленное выпрямителем 1 пульсирующее напряжение подается на параллельно соединенные контур 7 и тиристорный луч 8, с которых снимаются импульсы напряжения, с параметрами, определяемыми, как уже указывалось, параметрами сети сигнала задающего генератора.



Амплитуда этих импульсов зависит от мгновенного значения напряжения сети в момент запуска тиристорного ключа 8, поэтому их огибающая представляет собой модуль синусоидального выходного напряжения. Фильтр 3 преобразует импульсы, поступающие на его вход, в однополярное синусоидальное напряжение, которое затем подается на вход двухполярного тиристорного луча 4 и на вход схемы выделения нуля 8, выдающей сигнал тогда, когда выходное напряжение с фильтра 3 уменьшается до

нуля. С выхода схемы выделения нуля импульсы поступают в счетный вход триггера 7, который, опрокидываясь, возбуждает один из формирователей 5, 6, выходные импульсы которых подаются на управляющие электроды двухполярного тиристорного ключа 4. На нагрузке 9, подключенной к выходу ключа, будет выделяться инфранизкочастотный синусоидальный сигнал.

В случае работы установки в импульсном режиме фильтр 3 подключается к выходу выпрямителя 1 и постоянное напряжение подается на тиристорный ключ 10, который управляется схемой, аналогичной описанной. Таким образом, маломощный задающий генератор 2 формирует импульсы необходимой частоты, изменяющейся в заданных пределах; затем импульсы через усилитель-формирователи 5, 6 поочередно открывают тиристоры тиристорного ключа 10. С выхода ключа на нагрузку поступают импульсы, частота которых определится частотой задающего генератора, а амплитуда — напряжением на интегральном фильтре. Мощность, поступающая на нагрузку, зависит от мощности питающей сети, параметров тиристорного ключа, параметров катушки индуктивности. В данной схеме использовались тиристоры типа КУ202Н, частотный диапазон которых достигает 1 кГц, позволяющие осуществлять коммутацию цепи с током нагрузки до 5 А, а также использовать высоковольтный (до 400 В) источник питающего напряжения. В качестве трансформаторов усилителей-формирователей могут быть взяты ферритовые кольца 2000НМ1 с внешним диаметром не менее 20 мм. Для устранения выбросов напряжения, обусловленных индуктивным характером нагрузки, последняя шунтируется диодом 11.

Расчет электродов — катушек индуктивности, создающих электромагнитное поле, проводили, используя данные работы [1]. Из формулы Фабри, связывающей подводимую к катушке мощность и создаваемую напряженность электромагнитного поля, определено, что для получения напряженности поля порядка 100 эрстед в катушке, намотанной медной проволокой, с внутренним диаметром соленоида около 20 см требуется источник тока с выходной мощностью порядка 300 Вт, что обеспечивает необходимое согласование генератора с нагрузкой.

Изготовлено несколько образцов установок в соответствии с предлагаемой схемой. Исследования, проведенные с их помощью свидетельствуют о возможности применения их при медицинских и биологических работах.

Список литературы: 1. Новости медицинского приборостроения. М., ВНИИМГ 1971, с. 63—90. 2. Холодов Ю. А. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М., Наука, 1966, с. 36—68, 160—161. 3. Пресман А. С. Электромагнитная сигнализация в живой природе. М. 1974, с. 45—58. 4. Алжанова Н. А. Медленные электрические процессы в головном мозге. М., АМН СССР, 1962, с. 14—21. 5. D'A sonva M. A. 189: Production des courants de haute fréquence et de grande intensité et leur effet physiologiques.— Compt. rend. Soc. biol. v. 45, p. 122. 6. Суяков К. В., Антимоний Г. Д. Центральные механизмы действия электромагнитных по-

Поступила 5 апреля 1979 г.

УДК 621.391

Ф. А. ДОМНИН, канд. техн. наук, А. И. ПОВОРОЗНИК

## ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Одним из наиболее распространенных классов квазипериодических функций, порождающих повышенный интерес, является класс биологических сигналов, периодичность которых определяется сердечным ритмом. Это такие сигналы как давление и кровотоки в различных участках гемодинамической системы, сигналы электрокардиограммы, реограммы и другие. При совместном анализе таких сигналов в исследовательской практике возникает необходимость в их аналитическом представлении. В данной работе рассматривается способ интерполяции, позволяющий установить структуру интерполяционного полинома между двумя квазипериодическими сигналами, в качестве которых рассматриваются синхронно снятые сигналы реограммы и артериального давления.

Постановка задачи заключается в следующем: даны два квазипериодических процесса  $x(t)$  — реограмма и  $y(t)$  — артериальное давление. Необходимо построить интерполяционный полином  $L(x) = f(X)$ , с заданной точностью воспроизводящий процесс  $y(t)$  в зависимости от параметра  $x(t)$ . В общем случае решение поставленной задачи требует построения интерполяционных полиномов большой степени и является крайне трудоемкой [1]. В данной работе рассмотрен способ построения интерполяционного полинома, основанный на рассмотрении исходных процессов в пределах одного периода. Наличие корреляции между такими сигналами дает основание строить зависимость  $y = f(x)$ , заданную множеством экспериментальных точек. При построении такой зависимости может быть принято равномерное квантование во времени сигналов  $x(t)$  и  $y(t)$  в соответствии с общеизвестными правилами. Обычно между процессами  $x(t)$  и  $y(t)$  имеются фазовые сдвиги, поэтому получаемая функция  $y = f(x)$  является неоднозначной. Для устранения многозначности сигнал  $x(t)$  в пределах периода представляется в виде монотонной функции  $X(t)$ .

$$X(t) = X_0 + \int_0^T \text{sign}(\dot{x}) \dot{x} dt; \quad \text{sign}(\dot{x}) = \begin{cases} 1 & \text{при } \dot{x} > 0; \\ 0 & \text{при } \dot{x} = 0; \\ -1 & \text{при } \dot{x} < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $X_0$  — значение процесса  $x(t)$  в момент начала отсчета периода;  $T$  — длительность периода (длительность периода сердечного цикла).

С учетом квантования по времени значение  $X(t)$  определяется так:

$$X(t) = X_0 + \sum_{i=0}^n \text{sign}(\Delta X_i) \Delta X_i; \quad i = 0, 1, 2, \dots, n = 2Tf_c. \quad (2)$$

Как видно из уравнений (1), (2), их решение требует определения начала и конца периода процесса  $x(t)$ . Учитывая существенную нелинейность кривой артериального давления  $y(t)$  в момент открытия аортального клапана (излом характеристики), для повышения точности аппроксимации начало периода отсчитывается с этого момента времени. Для выделения точек начала и конца периода может быть использован регулярно повторяющийся в каждый период один из признаков реограммы — минимум реограммы в точке  $A$  (см. рисунок). При этом обеспечивается однозначность определения начала и конца периода. Используя полученную монотонную функцию  $X(t)$  и избавляясь от времени как от промежуточного параметра, получаем искомую однозначную зависимость  $y = f(X)$ , которая и используется при построении интерполяционного полинома.

Аппроксимация функции  $y = f(X)$  производится полиномом вида

$$L(X) = a_0 + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_nX^n. \quad (3)$$

Рассмотрим способ построения интерполяционного полинома, обеспечивающий получение минимального его порядка при заданной точности интерполяции. Пусть известны значения  $x_0, x_1, \dots, x_n$ , при которых  $y_i - L_i = 0$ . Используя известные значения  $(y_i, x_i)_{i=1,2,\dots}$ , выполним процедуру понижения порядка исходного полинома путем переноса на каждом  $i$ -том шаге системы координат с точки  $(y_{i-1}, x_{i-1})$  в точку  $(y_i, x_i)$  с последующим делением  $y_i$  на значения  $x_i$ . При этом образуется новая функция  $y = f_i(X)$ , для аппроксимации которой требуется полином степени не выше  $(n - i)$ . Рассмотренная процедура продолжается до тех пор, пока на каком-то шаге для дополнительно определенных функций мы получим  $y = f_i(X) = \text{const}$ . Получаемое при этом значение  $i$  определяет степень интерполирующего полинома. Для пояснения изложенного выполним несколько промежуточных преобразований с исходным полиномом (3).

Перенесем начало координат в одну из экспериментальных точек  $A_0(y_0, x_0)$  зависимости  $y = f(X)$ . Получим

$$L(X_1) = y_1 = b_1X_1 + b_2X_1^2 + \dots + b_nX_1^n, \quad (4)$$

где  $y_1 = y - y_0$ ;  $X_1 = X - x_0$ .

Выражение (4) делится без остатка на аргумент  $X_1$ . Выполнив деление ординат множества экспериментальных точек на значение их абсцисс в новой системе координат, получаем

$$y = f_1(X_1) = \frac{y_1}{X_1} = b_1 + b_2X_1 + b_3X_1^2 + \dots + b_nX_1^{n-1}.$$

Данная функция имеет степень на единицу меньше, чем исходная  $y = f(X)$ . В точке  $A_0$  значение частного  $y = f_1(X)$  является неопределенностью вида  $\left(\frac{0}{0}\right)$ , поэтому данная и аналогичные ей точки исключаются из дальнейших расчетов. Далее процедура вычисления повторяется, т. е. переносится начало координат в точку  $A_1(y_1, x_1)$ ; находим значения  $y_2 = f_1(X_1) - y_1$  и  $X_2 = X - x_1$  и выполняем деление

$$y = f_2(X_2) = \frac{y_2}{X_2} = c_1 + c_2X_2 + c_3X_2^2 + \dots + c_{n-1}X_2^{n-2}.$$

С каждым шагом степень аппроксимирующего полинома  $L$ , точно проходящего через точки  $A_0, A_1, \dots$ , увеличивается на единицу. Процесс вычисления представляется следующим образом:

$$\frac{\frac{y - y_0}{X - y_0} - y_1}{X - x_1} - y_2$$

$$\dots \dots \dots - y_{i-1}$$

$$\frac{\frac{X - x_{i-2}}{X - x_{i-1}} = y_i = \text{const}; i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Преобразовав выражение (5) для  $i$ -го шага, получим

$$L_i = y_0 + (X - x_0)(y_1 + (X - x_1)(\dots)(y_{i-1} + (X - x_{i-1})y_i)\dots).$$

Раскрыв скобки и приведя подобные члены, найдем коэффициенты полинома. Увеличение степени полинома продолжается до тех пор, пока на всем множестве экспериментальных точек не выполнится условие

$$|y - L_i| \leq \epsilon,$$

где  $\epsilon$  — точность аппроксимации.

При переносе системы координат из  $i$ -й точки в  $(i + 1)$ -ю для уменьшения погрешностей вычислений надо брать точку, для которой

$$r = (x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 = \text{max}, \quad (6)$$

где  $y_i, y_{i+1}$  — значения функции  $y_i = f_i(X)$  на  $i$ -м шаге.

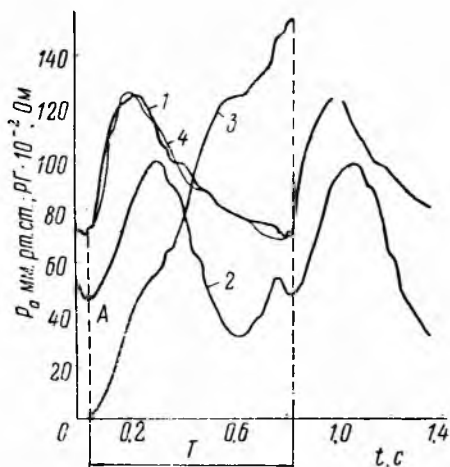
Полученный данным методом интерполирующий полином имеет степень, значительно меньшую числа экспериментальных точек. Исходная функция аппроксимируется полиномом 5-й степени

$$L(X) = ((((((X - 43) \cdot 0,7 \cdot 10^{-2} - 0,256) \cdot 0,1 (X - 124) - 1,258) \cdot 10^{-2} (X - 155) + 1,85) \cdot 10^{-3} (X - 75) - 0,3) (X - 15) + 21,33) \cdot 0,1 X + 73$$

с погрешностью  $\epsilon \leq 3\%$ .

На рисунке представлены графики: 1 — артериального давления  $y(t)$ , 2 — реограмма  $x(t)$ , 3 — монотонная функция  $X(t)$ , 4 — аппроксимация исходной функции выражением (6).

Изложенный способ построения интерполяционного полинома легко реализуется с помощью ЭВМ.



Список литературы: 1. Крейн С. Г. Функциональный анализ. М., Наука, 1972. 544 с. 2. Касерес Ц., Дрейфус Л. Вычислительная система и автоматическая диагностика заболеваний сердца. М., Мир, 1974. 389 с.

Поступила 7 марта 1979 г.

УДК 65.011.56

Ф. А. ДОМНИН, канд. техн. наук, И. К. КОСТИНА, В. П. ПОЛТАВЦЕВ,  
В. И. ЛИСОВСКИЙ

### ОРГАНИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРО- И ФОНОКАРДИОСИГНАЛОВ НА ЭВМ

Рассматривается возможность определения с помощью ЭВМ «медицинских» параметров электро- и фонокардосигналов. Электро- и фонокардосигналам (ЭКС и ФКС) присуща большая информативность, они широко используются при поликардиографическом исследовании состояния сердечно-сосудистой системы, так как способствуют повышению общей точности диагностики [1]. Совместный анализ синхронно вводимых в ЭВМ данных сигналов необходим для выделения основных тонов ФКС и позволяет повысить достоверность идентификации структурных элементов ЭКС при решении задачи их распознавания.

Анализ рассматриваемых сигналов состоит из двух этапов идентификации структурных элементов сигнала и выделения

«существенных» точек, необходимых для измерения собственных и совместных параметров сигналов.

Идентификация структурных элементов ФКС и ЭКС проводится с многократным чередованием анализа отдельных элементов или участков сигнала. Анализ начинается с выделения комплексов *QRS* электрокардиограммы; знание их временных положений необходимо для идентификации тонов ФКС. Для выделения комплексов *QRS* вычисляется вспомогательная функция  $\Psi(t)$ , достигающая максимума в пределах комплекса и близкая к нулю вне этого интервала. В качестве функции  $\Psi(t)$  может быть выбрана первая производная от исходной функции  $\Phi(t)$  или «скользящая дисперсия» сигнала [2]

$$\Psi(t) = \frac{1}{2\tau} \int_{t-\tau}^{t+\tau} [\Phi(u) - E(t)]^2 du,$$

где  $E(t)$  — скользящее среднее, определяемое как

$$E(t) = \frac{1}{2\tau} \int_{t-\tau}^{t+\tau} \Phi(u) du.$$

Поиск положений комплексов *QRS* сводится к выделению временных интервалов, в пределах которых функция  $\Psi(t)$  превосходит заданный порог. Обычно распознавание ЭКС осуществляется заданием (по положению комплекса *QRS*) зон поиска зубцов *P* и *T* и последующим «просеиванием» всех зубцов в выделенной зоне по ряду критериев [3]. Данная методика не позволяет в сложных случаях «наползания» зубца *P* и *T* или при сложных формах зубца *T* отделить их. Наличие синхронно записанного ФКС позволяет по положению второго тона уточнить границы зубцов *T* и *P* и тем самым повысить достоверность идентификации. После выделения комплексов *QRS* электрокардиосигнала осуществляется переход к идентификации основных тонов ФКС.

При анализе ФКС оперируем исключительно с экстремумами сигнала, совокупность которых представляет собой огибающую (по аналогии с радиосигналами), дающую [2] полную информацию о его форме, амплитуде и длительности.

Для идентификации ФКС достаточно анализировать только экстремумы огибающей. Идентификация любого из тонов заключается в нахождении в зоне поиска максимумов огибающей, принадлежащих исходному тону. Для определения зоны поиска любого из тонов необходимо знать положение опорной точки и максимально допустимую длительность тона. Кроме искомого тона в зоне поиска могут находиться близлежащие тона, что затрудняет идентификацию. Следует различать близлежащий тон от компонентов искомого тона, которые возникают при его раздвоении или расщеплении.

Расщеплением тона является непостоянное, зависящее от фаз дыхания разделение его на два компонента, колебания между

которыми сохраняют низкую амплитуду. Если это разделение постоянное и интервал между вершинами не менее 0,07 с, то оно носит название раздвоения [1].

При идентификации I-го тона опорной точкой является временная координата местоположения комплекса *QRS* электрокардиограммы. Опорными точками для идентификации остальных тонов (II, III, IV) является начало предыдущего.

При отделении I-го тона от IV-го критерием разделимости будет соотношение амплитуд максимумов огибающей. Амплитуды максимумов, принадлежащих одному тону, могут отличаться на допустимую величину.

Критерий разделимости II-го тона от III-го — расстояние между максимумами огибающей, которое не превышает допустимой величины, если максимумы принадлежат одному тону.

За этапом идентификации тонов ФКС следует (см. рис. 2) предварительная идентификация зубцов ЭКС. Уточнение положений зубцов ЭКС проводится только после выделения существенных точек ФКС. В результате предварительной обработки ФКС симметричен относительно нулевой линии и при анализе сигнала достаточно анализировать только положительную часть огибающей. Существенными точками ФКС являются максимумы тона, которые определяются на этапе идентификации, и его начало и конец. Поиск начала тона заключается в нахождении ближайшего минимума, лежащего слева от его первого максимума. Концом тона будет ближайший минимум, лежащий справа от второго максимума, а при его отсутствии — от первого.

В процессе распознавания определены морфологические характеристики ЭКС, часть из которых описывают сами зубцы (амплитуда, длительность, форма и др.), а остальные — собственные и совместные характеристики (длительность сегментов, относительное положение зубцов и др.) [3].

Все получаемые параметры можно разделить на собственные параметры сигналов и совместные параметры ФКС и ЭКС.

К собственным параметрам ФКС относятся: длительности тонов, расстояния между ними, параметры роста амплитуды тонов, наличие тонов и их форма.

Расстояние между тонами вычисляется по временным координатам начал соответствующих тонов. Параметр роста амплитуды является качественным, с оценками — амплитуда занижена, завышена, в норме. Для получения качественной оценки анализируется разница между среднестатистической амплитудой тона и найденной. Форма тона также является качественным параметром, для различных тонов определяемый по-разному. Общим параметром формы для любого из тонов является наличие или отсутствие раздвоения, необходимым условием которого является тот факт, что расстояние между максимумами рассматриваемого тона не меньше минимально допустимого. Еще одним параметром формы II-го тона является вид раздвоения.

Раздвоение II-го тона может быть регулярным или парадоксальным. Регулярным раздвоением является такое, при котором амплитуда первого максимума превышает амплитуду второго, в противном случае оно носит название парадоксального.

К совместным параметрам сигналов относятся: расстояние между началами комплексов *QRS* и I-го тона и между началом II-го тона и концом зубца *T*, уточненная абсцисса конца зубца *T* и параметр формы II-го тона. Такой параметр как расстояние между началом II-го тона и концом зубца *T* определяется в том случае, если конец зубца *T* на ЭКС определен с достаточно высокой достоверностью (т. е. был наиболее легкий для распознавания зубца *T* вариант); в противном случае определяется уточненная абсцисса конца зубца *T* в зависимости от формы II-го тона. Один из параметров формы II-го тона был определен как собственный параметр, другой — взаимным расположением зубца *T* ЭКС и началом II-го тона ФКС. Если II-й тон начинается на восходящем колене зубца *T*, он является преждевременным, если на нисходящем, то — запаздывающим. Если II-й тон не раздвоен или раздвоение регулярное и запаздывающее, концу зубца *T* соответствует начало II-го тона. При регулярном и преждевременном раздвоении концу зубца *T* соответствует первый максимум II-го тона. Концу зубца *T* соответствует второй максимум тона, если раздвоение парадоксальное и преждевременное (данная ситуация изображена на рис. 1). При парадоксальном и запаздывающем раздвоении между концом зубца *T* и началом II-го тона существует известное расстояние.

На рис. 2 приведена блок-схема алгоритма совместной обработки электро- и фонокардиосигналов.

Рассмотренные выше алгоритмы реализованы на ЭВМ М-6000.

В систему можно вводить преобразованные с помощью АЦП в 10-разрядный двоичный код сигналы с 6-ти отведений ЭКГ и одного из 5-ти каналов ФКГ.

Перед вводом информации с пациента калибруется сквозной тракт ввода кардиосигналов с целью определения его параметров (усиление, уровень шума, дрейф) и настройки устройств оператором по директивам ЭВМ. Для этого на входы ЭКГ подается меандр с частотой 1 Гц, а на микрофон ФКГ — звуковые колебания с частотой 100 Гц стандартной амплитуды.

При вводе кардиосигналов в машину решается ряд задач, связанных с резко отличающимися частотными свойствами ЭКС и ФКС и необходимостью размещения большого объема информации в памяти ЭВМ. Для достоверного распознавания кардиограмм требуется иметь 4—5 периодов. При выделяемом под информацию объеме буфера, равном 6К слов, и общепринятой частоте дискретизации  $f = 500$  Гц можно вводить кардиосигналы в течение лишь 1 с. Решением этой задачи является организация синхронного сжатия с коэффициентом сжатия  $K_{сж} = 4 — 5$ . Требование ввода сигналов в реальном масштабе времени строго

ограничивает время, отводимое на обработку одного сигнала. Поэтому в качестве алгоритма сжатия принят алгоритм с просто вычисляемым интегральным критерием вида [4]:

$$\left| \int_0^t f(t) dt - \int_0^t f^*(t) dt \right| \approx \left| \sum_{i=1}^{n-1} y_i + (1-p)(y_0 + y_n) \frac{1}{2} \right| \geq \varepsilon_{\text{доп}},$$

где  $p$  — число пропущенных интервалов квантования.

Для обеспечения равномерного квантования по времени вводимых кардиосигналов в системе используется таймер, который вызывает прерывание через интервал времени  $T_{\text{прер}}$ , пропорциональный выданному на таймер коду из ЭВМ.

Из-за широкого частотного спектра ФКС (30—300 Гц) вводить их как ЭКС со сжатием не представляется возможным. Так как для анализа фонограмм требуется только огибающая, достаточно формировать массив экстремумов фонограмм. Подавляющая часть энер-

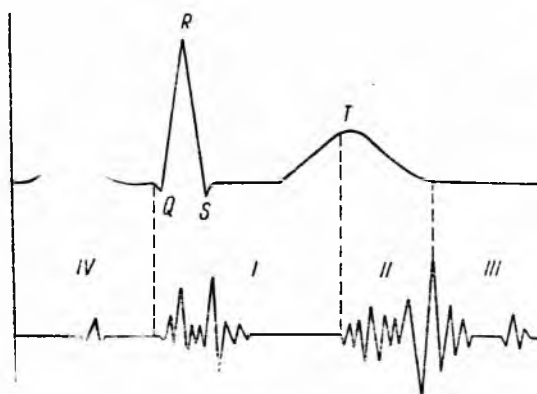


Рис. 1

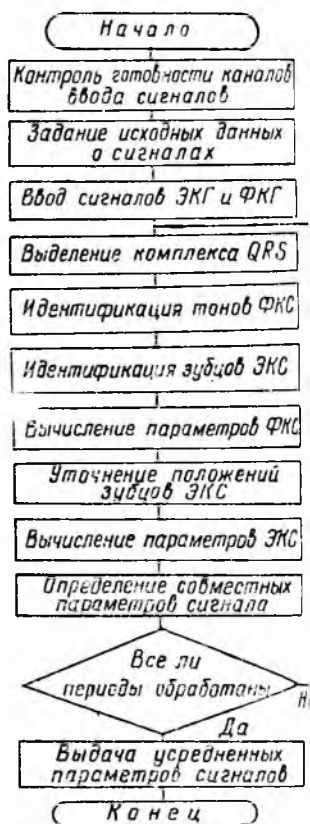


Рис. 2

гии тонов сердца в фонограмме приходится на частоты 10—200 Гц. Следовательно, в зависимости от канала частота квантования ФКС должна быть 500—2000 Гц. Чтобы не вводить в систему два таймера, принято, что частота квантования ФКС может принимать одно из четырех значений: 500, 1000, 1500 или 2000 Гц, т. е. за интервал времени между соседними отсчетами электрокардиограммы 1, 2, 3 или 4 аза вводим в ЭВМ координаты фонограмм и, следовательно,  $T_{\text{прер}} = \frac{T_{\text{кв}}}{n} = \frac{1}{fn}$ , где  $n = 1, 2, 3, 4$ .

Различие методов сжатия ЭКГ и ФКГ приводит к асинхронности ввода, но так как для обоих типов сигналов существует общая шкала времени, это позволяет осуществить их временную привязку.

Для обеспечения работоспособности алгоритма необходимо, чтобы наибольшая длительность ( $T_{\max}$ ) алгоритма ввода  $N$  отведений не превышала периода квантования  $T_{\text{кв}} \geq T_{\max}$ . Для приведенной структуры алгоритма

$$T_{\max} = T_{\text{подг}} + N(T_{\text{ввода}} + T_{\text{сж}}) + n(T_{\text{тмп}} + T_{\text{фкг}}),$$

где  $T_{\text{подг}} = 210$  мкс — время выполнения подготовительных операций;  $T_{\text{ввода}} = 58,5$  мкс — время ввода одной точки ЭКГ;  $T_{\text{сж}} = 226$  мкс — время реализации алгоритма сжатия;  $T_{\text{тмп}} = 28,5$  мкс — время на работу с таймером;  $T_{\text{фкг}} = 150$  мкс — время ввода точки ФКГ и реализации алгоритма выделения экстремумов. На введенные сигналы наложены искажения. Для устранения в ЭКС низкочастотных составляющих помех — тренда, период которых превышает период полезного сигнала, применен следующий алгоритм. Определяются на временной оси участки ЭКС, принадлежащие изопотенциальной нулевой линии, и по ним осуществляется формирование нулевой линии путем интерполяции сплайном первой или третьей степени [3].

Устранение постоянной составляющей, накладываемой на ФКС при вводе, осуществляется по двум выделенным точкам нулевой линии сигнала с линейной интерполяцией промежуточных точек. Вычисление точек нулевой линии производится усреднением ФКС в пределах интервала, определяемого по положению комплекса *QRS* электрокардиосигнала.

Указанный подход к распознаванию электро- и фонокардиосигналов был реализован в программах на языке ФОРТРАН. Программа содержит около 1,5 тысячи операторов. Время обработки 4-х сигналов, без учета времени обращения к внешним запоминающим устройствам, составляет 2 минуты.

Список литературы: 1. Михнев А. Л., Следзевская И. К., Яновский Г. В. Клиническая фонокардиография. Киев, Здоров'я, 1970. 325 с. 2. Балтиминский П. П., Валужис К.-К. А. Предварительная обработка фонокардиосигналов при анализе их на ЦВМ.— Тезисы / Всесоюз. совещ. Теория и практика автоматизации электрокардиологических и клинических исследований. Каунас, Райде, 1977, с. 142—144. 3. Домнин Ф. А., Полтавцев В. П. Алгоритм распознавания синхронно записанных сигналов ЭКГ.— Тезисы / Всесоюз. совещ. Теория и практика автоматизации электрокардиографических исследований. Каунас, Райде, 1977, с. 188—191. 4. Домнин Ф. А., Магерамов Р. К. Алгоритм ввода в реальном масштабе времени синхронно снимаемых сигналов ЭКГ в ЭЦВМ М-6С00.— Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Автоматика и приборостроение, 1977, вып. 4, с. 25—29.

Поступила 7 марта 1979 г.

## О ТРАНЗИТИВНЫХ МОДИФИКАЦИЯХ ГРУППОВЫХ ОТНОШЕНИИ

Рассмотрим некоторые аспекты одного из основных вопросов теории группового выбора — построения транзитивных групповых упорядочений объектов. Используется терминология Б. Г. Миркина [1]; необходимые свойства бинарных отношений приведены там же.

Пусть  $M$  — множество сравниваемых объектов;  $R_1, \dots, R_n$  — индивидуальные предпочтения на множестве  $M$  группы лиц (экспертов), являющиеся линейными квазипорядками;  $f(n)$  — некоторая (не обязательно возрастающая) функция от  $n$ , такая, что  $0 \leq f(n) \leq n$  для любого натурального  $n$ . Для объектов  $a, b \in M$  через  $n(a, b)$  обозначим число отношений  $R_i$ , для которых  $(a, b) \in R_i$ . Пусть  $R$  — групповое отношение, построенное по следующему правилу:

$$(a, b) \in R \leftrightarrow n(a, b) \geq f(n). \quad (1)$$

В частности, при  $f(n) = n/2$  получается правило простого большинства [1], при  $f(n) = \lfloor xn \rfloor + 1$  — правило  $\alpha$ -большинства [2].

Отношение  $R$ , определенное правилом (1), не является ни линейным, ни транзитивным. Для удобства предполагаем  $n(a, a) = n$  для любого объекта  $a \in M$ , тогда  $R$  станет рефлексивным. Кроме того, легко видеть, что при  $f(n) \leq n/2$  отношение  $R$  линейно, поскольку  $n(a, b) + n(b, a) \geq n$ .

Определим так же, как и в [1], модификации отношения  $R$ . Отношение  $R'$  назовем модификацией группового отношения  $R$ , если для любых  $a, b \in M$  выполняются условия: 1) если  $n(a, b) > f(n)$ , то  $(a, b) \in R'$ ; 2) если  $n(a, b) = f(n)$ , то  $(a, b) \in R'$  или  $(b, a) \in R'$ ; 3) если  $n(a, b) < f(n)$ , то  $(a, b) \notin R'$ .

Отметим некоторые свойства модификаций, необходимые для дальнейшего изложения. Пусть  $R'$  — модификация отношения  $R$ , тогда  $R' \subseteq R$ . Пересечение  $P$  всех модификаций отношения  $R$  обладает таким свойством:

$$(a, b) \in P \leftrightarrow n(a, b) > f(n). \quad (2)$$

Далее, если  $f(n) \leq n/2$ , каждая модификация  $R'$  линейна. Действительно, если  $(a, b) \notin R'$  и  $(b, a) \notin R'$ , то  $n(a, b) < f(n)$  и  $n(b, a) < f(n)$ , откуда  $n(a, b) + n(b, a) < 2f(n) \leq n$ . Мы пришли к противоречию, так как для любых объектов  $a, b \in M$  выполняется неравенство  $n(a, b) + n(b, a) \geq n$ .

Обратно легко проверить, что любое линейное отношение, лежащее между  $P$  и  $R$ , является модификацией отношения  $R$ .

В [1] поставлена задача о нахождении алгоритма построения транзитивной модификации при  $f(n) = n/2$ ; в работе [3] предложен такой алгоритм и дано необходимое и достаточное условие

существования транзитивной модификации. В данной статье с использованием методов работы [3] дано решение этой же задачи для более общего случая, когда  $f(n)$  — произвольная функция, удовлетворяющая условию  $0 \leq f(n) \leq n/2$ .

В дальнейшем используются обозначения:  $\Delta$  — диагональ декартова квадрата  $M \times M$ ,  $\Delta(a, b) = \Delta \cup \{(a, b)\}$ . Для произвольного бинарного отношения  $A$  через  $\bar{A}$  обозначается его дополнение; через  $A^+$  — транзитивное замыкание;  $P$  — пересечение всех модификаций группового отношения  $R$ , построенного по правилу (1). Запись  $aAb$  означает  $(a, b) \in A$ , где  $A$  — бинарное отношение. Всюду ниже предполагаем, что  $0 \leq f(n) \leq n/2$ .

Для построения алгоритма используются следующие утверждения.

**Лемма** [3]. Пусть  $A$  — произвольный квазипорядок. Тогда для любых  $a, b \in M$   $(A \cup (a, b))^+ = A\Delta(a, b)A$ .

**Теорема.** Пусть  $Q$  — такое транзитивное отношение, что  $P \subseteq Q \subseteq R$ , и пусть  $b\bar{Q}a$  для некоторых объектов  $a, b \in M$ . Тогда  $(Q \cup (a, b))^+ \subseteq R$ . (Заметим, что из  $b\bar{Q}a$  следует  $b\bar{P}a$ , т. е. по свойству (2)  $n(b, a) \leq f(n)$ , откуда  $n(a, b) \geq n - f(n) \geq f(n)$  и  $(a, b) \in R$ ).

Доказательства леммы и теоремы приведены в приложении.

Алгоритм нахождения транзитивной модификации группового отношения работает следующим образом. На первом шаге находим транзитивное замыкание  $P^+$  отношения  $P$  (для этого матрица из нулей и единиц, соответствующая отношению  $P$ , возводится в степень до тех пор, пока степени не стабилизируются). Если  $P^+ \not\subseteq R$ , транзитивной модификации не существует ( $P$  является пересечением всех модификаций, поэтому  $P^+$  содержится в пересечении всех транзитивных модификаций). Если же  $P^+ \subseteq R$ , обозначим  $Q_1 = P^+$  и перейдем ко второму шагу. При этом  $P \subseteq Q_1 \subseteq R$ .

Пусть на  $i$ -м шаге ( $i \geq 1$ ) получено транзитивное отношение  $Q_i$ , такое, что  $P \subseteq Q_i \subseteq R$ . Если  $aQ_ib$  или  $bQ_ia$  для каждой пары  $(a, b) \in M \times M$ , то отношение  $Q_i$  линейно и, следовательно, является искомой транзитивной модификацией. Пусть найдутся такие объекты  $a, b \in M$ , что  $a\bar{Q}_ib$  и  $b\bar{Q}_ia$ . Тогда (см. замечание к теореме)  $aRb$  и  $bRa$ , и мы переходим к следующему шагу, полагая  $Q_{i+1} = (Q_i \cup (a, b))^+ = Q_i\Delta(a, b)Q_i$ . По теореме отношение  $Q_{i+1}$  содержится в  $R$ , будучи при этом отличным от  $Q_i$ .

Из описания алгоритма непосредственно получается следующее необходимое и достаточное условие существования транзитивной модификации, удобное для практических применений.

**Следствие.** Транзитивная модификация группового отношения  $R$  (при  $0 \leq f(n) \leq n/2$ ) существует тогда и только тогда, когда  $P^+ \subseteq R$ .

**Пример.** Покажем на примере работу алгоритма. Пусть 4 эксперта имеют индивидуальные отношения на множестве объек-

тов  $M = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ :  $R_1: 1 = 2 = 3 > 4 > 5$ ;  $R_2: 4 > 5 > 1 > 3 > 2$ ;  $R_3: 3 > 2 > 5 > 4 > 1$ ;  $R_4: 5 > 1 > 4 > 3 > 2$ .

Положим  $f(n) = n/2$ . Тогда отношения  $P$  и  $R$  задаются матрицами:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad R = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Транзитивное замыкание отношения  $P$  совпадает с его квадратом, поэтому

$$Q_1 = P^{\tau} = P^2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

На втором шаге к  $Q_1$  можно добавить пару  $(4, 1)$ , так как  $(4, 1) \notin Q_1$  и  $(1, 4) \notin Q_1$ . Получаем

$$Q_2 = (Q_1 \cup (4, 1))^{\tau} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

На третьем шаге присоединяем пару  $(5, 4)$ :

$$Q_3 = (Q_2 \cup (5, 4))^{\tau} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Полученное отношение  $Q_3$  линейно и, следовательно, является искомой транзитивной модификацией отношения  $R$ :  $R' = = Q_3: 5 > 4 > 1 > 3 > 2$ .

Отметим некоторые особенности алгоритма.

*Замечание 1.* При нахождении транзитивной модификации на ЭВМ матрицу отношения  $Q_i = (Q_{i-1} \cup \Delta(a, b))^{\tau}$  удобно вычислять, используя лемму. Если  $Q_i = (q_{\alpha\beta}^i)_{\alpha, \beta=1}^n \Delta(a, b) = (\delta_{\alpha\beta})_{\alpha, \beta=1}^n$ , из соотношения  $Q_i = Q_{i-1} \Delta(a, b) Q_{i-1}$  получаем

$$q_{\alpha\beta}^i = \sum_{x, y=1}^n q_{\alpha x}^{i-1} \delta_{xy} q_{y\beta}^{i-1} = \sum_{x=1}^n q_{\alpha x}^{i-1} q_{x\beta}^{i-1} + q_{\alpha a}^{i-1} q_{b\beta}^{i-1}.$$

Так как  $Q_{i-1}^{\circ} = Q_{i-1}$ , то  $\sum_{x=1}^n q_{\alpha x}^{i-1} q_{x\beta}^{i-1} = q_{\alpha\beta}^{i-1}$ , откуда получаем формулу для вычисления элементов матрицы  $Q_i$ :  $q_{\alpha\beta}^i = q_{\alpha\beta}^{i-1} + q_{\alpha a}^{i-1} q_{b\beta}^{i-1}$ .

*Замечание 2.* Нельзя упростить алгоритм, присоединяя на каждом шаге сразу несколько пар, удовлетворяющих условию теоремы. Так, в приведенном выше примере

$$(Q_1 \cup (2, 4) \cup (4, 1))^{\tau} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \notin R.$$

*Замечание 3.* В случае, когда  $f(n) > \frac{n}{2}$ , алгоритм не применим. Так, например, если заданы индивидуальные отношения:  $R_1: 1 > 2 > 3 > 4 > 5$ ;  $R_2: 2 = 3 > 4 > 1 = 5$ ;  $R_3: 1 > 4 = 5 > 3 > 2$ ;  $R_4: 1 = 2 = 3 = 5 > 4$ ;  $R_5: 4 > 2 > 1 = 3 = 5$ ;  $R_6: 5 > 1 = 4 > 3 > 2$ , то при  $f(n) = \frac{2}{3}n$  получаем  $n(3, 5) = n(5, 3) = 4$ . В то же время легко проверить, что  $(P^2 \cup (5, 3))^{\tau} \subseteq R$ , хотя  $P^{\tau} = P^2 \subseteq R$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ

*Доказательство леммы.* Покажем сначала, что отношение  $A\Delta(a, b)A$  является квазипорядком. Действительно,  $\Delta \subseteq A \cap \Delta(a, b)$ , откуда следует рефлексивность отношения  $A\Delta(a, b)A$ . Докажем, что  $A\Delta(a, b)A$  транзитивно.

Пусть  $(x, y) \in A\Delta(a, b)A$  и  $(y, z) \in A(a, b)A$ , тогда найдутся такие  $\alpha, \beta, \gamma, \delta \in M$ , что  $xA\alpha, yA\gamma, \alpha\Delta(a, b)\beta, \gamma\Delta(a, b)\delta, \beta Ay, \delta Az$ .

Из  $\alpha\Delta(a, b)\beta$  следует  $\alpha = \beta$  или  $\alpha = a, \beta = b$ . В первом случае  $xA\gamma, \gamma\Delta(a, b)\delta, \delta Az$ , т. е.  $(x, z) \in A(a, b)A$ . Точно так же  $(x, z) \in A\Delta(a, b)A$ , если  $\gamma = \delta$ .

Предположим теперь, что  $\alpha = \gamma = a, \beta = \delta = b$ . Тогда  $xAa, bAz$ , откуда  $(x, z) \in A\Delta(a, b)A$ , т. е. отношение  $A\Delta(a, b)A$  транзитивно.

В силу рефлексивности  $A \cup (a, b) \subseteq A\Delta(a, b)A$ , откуда  $(A \cup (a, b))^{\tau} \subseteq A\Delta(a, b)A$ . С другой стороны,  $A\Delta(a, b)A = A(\Delta \cup (a, b))A = A^2 \cup A(a, b)A \subseteq (A \cup (a, b))^2 \subseteq (A \cup (a, b))^{\tau}$ . Таким образом,  $(A \cup (a, b))^{\tau} = A\Delta(a, b)A$ , что и требовалось доказать.

*Доказательство теоремы.* Предположим обратное. Пусть  $(x, y) \notin R$ ,  $(x, y) \in (Q \cup (a, b))^{\tau}$  для некоторых объектов  $x, y \in M$ . По лемме  $(x, y) \in Q\Delta(a, b)Q$ , т. е.  $xQ\alpha, \alpha\Delta(a, b)\beta, \beta Qy$ .

Если  $\alpha = \beta$ ,  $(x, y) \in Q \subseteq R$  (в силу транзитивности отношения  $Q$ ) вопреки предположению. Поэтому  $\alpha \neq \beta$  и, следовательно,  $\alpha = a, \beta = b$ . Отсюда  $xQa$  и  $bQy$ . Если  $bQx$ , используя транзитивность отношения  $Q$ , получаем  $bQa$ , что противоречит условию теоремы, поэтому  $bQx$ .

Так как групповое отношение  $R$  линейно, то из  $xRy$  следует  $yRx$ . Поэтому  $n(x, y) < f(n)$ ,  $n(y, x) \geq n - n(x, y) > n - f(n) \geq f(n)$  и, следовательно,  $xPy, yPx$  по определению отношения  $P$ . Так как  $P \subseteq Q$ , то  $yQx$ . Но  $bQy$ , откуда  $bQx$  — противоречие. Следовательно,  $(Q \cup (a, b))^{\tau} \subseteq R$ , что и требовалось доказать.

Таким образом, построен алгоритм, позволяющий получить транзитивное решение в случае, когда отношение, полученное методом большинства, нетранзитивно. Этот алгоритм может быть использован при построении моделей, учитывающих влияние субъективных факторов — мнений индивидуумов и коллективных решений.

Список литературы: 1. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора. М. Наука, 1974. 180 с. 2. Апинис А. А. О транзитивности правил  $\alpha$ -большинства и более общих правил.—Мат. методы в социальных науках. Вильнюс 1974, вып. 4, с. 3—36. 3. Илюнин О. К., Новиков Б. В. О транзитивных модификациях мажоритарных отношений. (Депон. ВИНТИ, № 4421, 1976). — Реф. журн. мат., 1977, 4В582.

Поступила 13 ноября 1978 г.

УДК 519.812.5

О. К. ИЛЮНИН, канд. техн. наук, Б. В. НОВИКОВ

## О НАХОЖДЕНИИ МЕДИАНЫ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ УПОРЯДОЧЕНИЙ

Пусть  $M = \{1, \dots, m\}$  — множество сравниваемых объектов,  $R_1, \dots, R_n$  — заданные на этом множестве линейные упорядочения.

О п р е д е л е н и е. Упорядоченной дихотомией на множестве  $M$  назовем такое отношение  $D \subseteq M \times M$ , что  $D = (A \times M) \cup \cup ((M \setminus A) \times (M \setminus A))$  для некоторого подмножества  $A \subseteq M$ . Такое отношение называют дихотомическим линейным квазиупорядком [1].

Очевидно, что упорядоченная дихотомия является линейным квазиупорядком, разбивающим множество  $M$  на две группы объектов («хорошие» и «плохие» объекты). Матрица, соответствующая упорядоченной дихотомии, является блочно-треугольной и имеет вид (при подходящем упорядочении объектов)  $\begin{pmatrix} 1 & | & 1 \\ \hline 0 & | & 1 \end{pmatrix}$ , где разбиение на блоки соответствует разбиению множества  $M$  на подмножества  $A$  и  $M \setminus A$ .

Если трактовать бинарные отношения  $R_1, \dots, R_n$  как индивидуальные упорядочения экспертов, возникает задача о нахождении группового транзитивного отношения, т. е. отношения наиболее приемлемого в некотором смысле для всех экспертов. Один из способов ее решения состоит в следующем [1]. В классе всех транзитивных отношений  $T$  находят минимум суммы

$$\sum_{i=1}^n d(R_i, R), \quad (1)$$

где  $R$  пробегает множество  $T$ ;  $d(R_i, R) = |(R_i \cup R) \setminus (R_i \cap R)|$  — расстояние Хемминга. Отношение  $R \in T$ , минимизирующее выражение (1), будем в дальнейшем называть медианой отношений  $R_1, \dots, R_n$  в классе  $T$  [1]. Как известно, отыскание минимума (1) сводится к задаче целочисленного программирования и не имеет в настоящее время достаточно эффективного решения в классе всех транзитивных отношений. В связи с этим возникает вопрос: для каких подмножеств  $T' \subseteq T$  можно указать эффективный алгоритм нахождения минимума (1) в множестве  $T'$ ? Как показывают выкладки в [1], такой алгоритм вряд ли возможно

найти в случаях, когда  $T'$  — множество всех эквивалентностей или квази порядков.

В данном сообщении предлагается способ нахождения медианы линейных порядков в множестве  $T_{0d}$  упорядоченных дихотомий.

Предложенный алгоритм является достаточно простым и не сводится к задаче целочисленного программирования.

Пусть  $R$  — линейный порядок,  $D$  — упорядоченная дихотомия. Удобно представлять отношения в виде матриц размера  $m \times m$  из нулей и единиц. Например,  $R = (r_{ij})$ , где

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (i, j) \in R; \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin R. \end{cases}$$

Аналогично будем писать  $D = (d_{ij})$ . Введем обозначения  $\bar{A} = M \setminus A$  и  $a = |A|$  ( $A$  — подмножество, соответствующее упорядоченной дихотомии  $D$ , см. определение).

Вычислим расстояние между  $R$  и  $D$ . Заметим предварительно, что  $|D| = |A||M| + (|M| - |A|)^2 = m^2 - ma + a^2$  и  $|R| = \frac{m(m+1)}{2}$ . Кроме того, поскольку  $R \cap (\bar{A} \times \bar{A})$  — линейный

порядок на множестве  $\bar{A}$ , то  $|R \cap (\bar{A} \times \bar{A})| = \frac{(m-a)(m-a+1)}{2}$ .

Поэтому

$$\begin{aligned} d(R, D) &= |R| + |D| - 2|R \cap D| = |R| + |D| - 2|R \cap (\bar{A} \times \bar{A})| - 2|R \cap (A \times M)| = \\ &= \frac{m(m+1)}{2} + m^2 - ma + a^2 - (m - a)(m + 1 - a) - 2 \sum_{i \in A} \sum_{j=1}^m r_{ij} = \frac{m(m-1)}{2} + (m+1)a - 2 \sum_{i \in A} r_i, \end{aligned}$$

где через  $r_i$  обозначена сумма  $\sum r_{ij}$ . Таким образом,  $r_i$  — ранг объекта  $i$  в упорядочении  $R$ . Минимизацию суммарного расстояния можно разбить на два этапа: зафиксировав число  $a = |A|$ , найдем

$$\Delta_a = \min_{|A|=a} \sum_{i=1}^n d(R_i, D),$$

а затем отыщем  $\min_{0 < a < m} \Delta_a$ .

Согласно предыдущим выкладкам  $\Delta_a$  имеет вид

$$\Delta_a = \frac{mn(m-1)}{2} + (m+1)an - 2 \max_{A: |A|=a} \sum_{i \in A} S_i,$$

где  $S_i = \sum_{j=1}^n r'_j$ . Перенумеруем теперь элементы множества  $M$  так, чтобы упорядочить суммы  $S_i$ :  $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_m$ . Тогда нетрудно увидеть, что

$$\Delta_a = \frac{mn(m-1)}{2} + (m+1)an - 2 \sum_{i=1}^a S_i. \quad (2)$$

Тем самым первый этап минимизации завершен. Попутно решена следующая задача: найти медиану линейных порядков  $R_1, \dots, R_n$  в классе  $T_{od}^a$  упорядоченных дихотомий с фиксированной мощностью множества  $A$ ,  $a = |A|$ . Для этого нужно найти все суммы  $S_i$  и, упорядочив соответственно элементы множества  $M$ , взять в качестве множества  $A$  первые  $a$  элементов. В частности, при  $a = 1$  из (2) получаем

$$\Delta_1 = \frac{mn(m-1)}{2} + (m+1)n - 2S_1 = \frac{n(m^2+m+2)}{2} - 2S_1.$$

Таким образом, «наилучшим» из элементов множества  $M$  будет тот элемент  $x$ , для которого максимальна сумма

$$S_x = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{xi}^j.$$

Находя последовательно «наилучший» элемент  $y$  в множестве  $M \setminus \{x\}$ , затем «наилучший» элемент  $z$  в множестве  $M \setminus \{x, y\}$  и т. д., мы получаем упорядочение элементов  $x \geq y \geq z \geq \dots$ , которое соответствует упорядочению, полученному суммированием рангов, приписанных каждому объекту экспертами [2].

Для решения второго этапа задачи рассмотрим разность

$$\Delta_a - \Delta_{a-1} = (m+1)n - 2S_a. \quad (3)$$

Из (3) следует, что  $\Delta_a \leq \Delta_{a-1}$ , и только тогда, когда  $S_a \geq \frac{(m+1)n}{2}$ . Поскольку величины  $S_a$  ( $a \in M$ ) упорядочены, то функция  $f(a) = \Delta_a$  имеет, следовательно, минимум на отрезке  $[0, m]$ , который достигается в точке  $a$ , такой, что

$$S_a \geq \frac{(m+1)n}{2} \geq S_{a+1}.$$

Точка минимума может быть не единственной, так как возможно существование отрезка, содержащего  $a$ , во всех точках которого достигается минимум.

Таким образом, для нахождения искомой упорядоченной дихотомии  $D$  достаточно после нахождения сумм  $S_a$  взять в качестве  $A$  подмножество всех элементов  $a \in M$ , таких, что  $S_a \geq \frac{(m+1)n}{2}$ .

**Пример.** Пусть 4 эксперта определяют следующие упорядочения множества объектов  $M = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ :  $R_1: 2 > 3 > 1 > 4 > 5$ ;  $R_2: 4 > 5 > 1 > 3 > 2$ ;  $R_3: 3 > 2 > 5 > 4 > 1$ ;  $R_4: 5 > 1 > 3 > 4 > 2$ . Тогда  $S_1 = 11$ ;  $S_2 = 11$ ;  $S_3 = 14$ ;  $S_4 = 11$ ;  $S_5 = 13$ . Поскольку  $(m+1)n/2 = 12$ , то  $A = \{3, 5\}$  — подмножество «лучших» объектов, а  $\bar{A} = \{1, 2, 4\}$  — подмножество «худших» объектов.

В заключение заметим, что предложенный алгоритм может быть использован для выделения группы значимых признаков из множества признаков, характеризующих некоторый объект,

если эти признаки предварительно упорядочены экспертами по значимости. Задачи такого типа возникают при использовании моделей анализа не количественной информации, шкалировании, классификации и т. п.

Список литературы: 1. *Миркин Б. Г.* Проблема группового выбора. М., Наука, 1974. 400 с. 2. *Кендэл М.* Ранговые корреляции. М., Статистика, 1975. 200 с.

Поступила 13 октября 1978 г.

УДК 62—50

*В. Ф. КОРОП*, канд. физ.-мат. наук, *Н. П. ДИДИЧЕНКО*

### ЧАСТИЧНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТРАКТОВКА

Рассмотрим некоторую обучающуюся систему (ОС), функционирующую во внешней среде (ВС). В каждый момент времени ОС получает из ВС информацию в виде некоторого сигнального комплекса  $S$ , характеризующего наличную ситуацию (т. е. состояние ВС).

Сигнальный комплекс  $S$  состоит из трех качественно различных частей:  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$  и  $S^{(3)}$ , где  $S^{(1)}$  — стимульная часть;  $S^{(2)}$  — индифферентная часть;  $S^{(3)}$  — новая часть.  $S^{(1)}$  — это часть информации, непосредственно влияющая на выбор реакции системой, т. е. на выбор воздействия ОС на ВС.  $S^{(2)}$  — напротив, совсем не влияет на выбор реакции. Образно говоря, ОС не обращает внимания на  $S^{(2)}$ . Наконец,  $S^{(3)}$  — это часть информации, которая, во-первых, никогда раньше не встречалась в индивидуальном опыте данной ОС, а во-вторых, на которую в ОС не имеется заранее заложенных (врожденных) связей с определенными реакциями. Если в качестве ОС берется животное,  $S^{(3)}$  — это то новое, чего не встречалось раньше ни в филогенезе, ни в онтогенезе. Наличие  $S^{(3)}$  приводит к таким явлениям, как временное ослабление  $S^{(1)}$ , появление общей реакции ориентирования, повышение уровня эмоционального возбуждения. Чаще всего  $S^{(3)}$  отсутствует или очень мала.

В данной работе изучаются процессы, связанные с соотношением между  $S^{(1)}$  и  $S^{(2)}$ . Предположим, что  $S^{(3)}$  отсутствует. Однако это отнюдь не означает, что мы считаем исследование влияния  $S^{(3)}$  на поведение неинтересным.

Пусть всякий сигнальный комплекс состоит из двух частей: стимульной  $S^{(1)}$ , определенным образом связанной с допустимым для данной ситуации набором реакций, и индифферентной  $S^{(2)}$ , которая экранируется (фильтруется) на входе ОС.

Наше следующее предположение касается обучения ОС. Обучение состоит в том, что в процессе функционирования ОС

меняются связи всякого сигнального комплекса  $S$  с реакциями. Поэтому выдвигаем гипотезу, что имеется два самостоятельных вида обучения.

1. Адаптация экранирования, т. е. изменение части  $S^{(2)}$  (а следовательно, и  $S^{(1)}$ ).

2. Собственно обучение, заключающееся в изменении связей с реакциями. При этом изменяются связи не только  $S^{(1)}$ , но и  $S^{(2)}$ : различие в том, что связи  $S^{(1)}$  — действующие, а связи  $S^{(2)}$  — законсервированы в данный момент и могут проявиться лишь в последующие моменты в случае перехода какой-то части  $S^{(2)}$  в  $S^{(1)}$ .

Адаптивное экранирование входной информации имеет большое значение для поведения биологических систем. Имеется много причин, обуславливающих целесообразность этого вида адаптации. Отметим важнейшие из них.

**Отсев несущественного.**  $S$  всегда содержит несущественную для данной ситуации информацию, которая в результате адаптивного экранирования становится индифферентной. Например, если имеется постоянно присутствующий шум, мы перестаем его замечать — скорее заметим его внезапное исчезновение. Отметим, что присутствие и отсутствие некоторого раздражителя имеют, как правило, разные степени индифферентности.

**Экономия.** Если существенная часть информации слишком большая (имеется избыточность информации), то во-первых, трудно всю ее переработать, а во-вторых, она не нужна вся. По этой причине становится индифферентной даже некоторая часть существенной информации. В качестве примера приведем один биологический эксперимент. Если обучать рыб в аквариуме реакции, заключающейся в том, чтобы плыть к кормушке при действии сложного раздражителя, состоящего из двух более простых (например, свет и звук), то на первой стадии обучения рыбы реагируют также и на каждый простой раздражитель в отдельности. Однако в дальнейшем один из раздражителей становится индифферентным.

**Регулирование взаимного влияния сигнальных комплексов.** Рассмотрим два сигнальных комплекса  $S_1$  и  $S_2$ , представляющие ситуации, которые имеют много общего («близкие» ситуации). Это означает, что  $S_1$  и  $S_2$  имеют общую часть, которую мы обозначим  $\hat{S}$ , и пусть  $\hat{S}^{(1)}$  — стимульная часть  $\hat{S}$ . Предположим теперь, что произошло обучение на  $S_1$ . Это означает, что случилась ситуация, представителем которой является  $S_1$ , в связи с чем была выбрана некоторая реакция, приведшая к обратному воздействию ВС на ОС (оценка реакции), и это воздействие вызвало изменение связей  $S_1$  с реакциями. Так как  $\hat{S} \subset S_1$ , то  $\hat{S}$  изменяет связи, а так как  $\hat{S} \subset S_2$ , приходим к выводу, что и  $S_2$  меняет связи с реакциями, т. е. наблюдается обучение ОС

на  $S_2$ , хотя  $S_2$  и не предъявлялось. Таким образом, происходит индуцирование обучения, связанного с предъявлением  $S_1$ , на  $S_2$  и на все достаточно близкие ситуации. Это явление называется в биологии стимульной генерализацией обучения. Заметим, что происходит также индуцирование обучения, и в пространство реакций — генерализация на реакциях. Наличие генерализации имеет фундаментальное значение в поведении, позволяя правильно реагировать на сигнальные комплексы, никогда раньше не предъявлявшихся (ни в индивидуальном опыте, ни в эволюции вида). Однако в случае, когда на  $S_1$  и  $S_2$  нужно реагировать по-разному, генерализация вредна, так как взаимное индуцирование обучения мешает дифференцировать поведение. Ясно, что в связи с этой двусмысленностью явления генерализации (польза и вред) целесообразно наличие некоторого механизма, способного регулировать степень (силу) генерализации. Именно таким механизмом является адаптивное экранирование. Например, если на  $S_1$  и  $S_2$  нужно научиться реагировать по-разному, то следует максимально экранировать их общую часть  $\hat{S}$ , т. е. сделать  $\hat{S}^{(1)}$  минимальной.

Ниже мы предлагаем одну простую математическую модель адаптивного экранирования входной информации. Ее можно также дополнить моделью обучаемых связей сигнальных комплексов с реакциями, что в совокупности даст полную модель ОС. Однако модель адаптивного экранирования имеет самостоятельное значение и может применяться для синтеза различных систем. Для описания процесса функционирования ОС мы применяем одну из традиционных схем, связанную с дискретным временем. Именно этот процесс представляется последовательностью актов обучения, а каждый акт состоит из следующих операций: из ВС на вход ОС поступает сигнальный комплекс  $S$ ; в зависимости от  $S$  и состояния ОС в данный момент, ОС вырабатывает реакцию  $R$ , являющуюся выходом для ОС и входом для ВС; в зависимости от  $R$  и ВС состояния ВС вырабатывает оценку  $O$ , поступающую на вход ОС (обратная связь); в зависимости от  $R$ ,  $O$  и состояния ОС происходит изменение этого состояния (обучение).

Переходим к описанию модели экранирования. Восприятие сигнального комплекса  $S$  осуществляется набором конечного числа  $n$  сенсорных элементов, каждый из которых может быть в двух состояниях: возбужденном и невозбужденном. Математически  $S$  представляется вектором  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ , где  $S_i$  равно 1 или 0.

Экранированию предшествует первоначальная переработка информации, заключающаяся в преобразовании вектора  $S$  в вектор  $a = (a_1, a_2, \dots, a_{2n})$ , где

$$a_i = \begin{cases} S_i & \text{при } i \leq n; \\ 1 - S_i & \text{при } i > n. \end{cases} \quad (1)$$

Как видно из (1), первая половина вектора  $a$  ( $i \leq n$ ) несет информацию о наличии возбуждений в сенсорных элементах, а вторая половина  $a$  ( $i > n$ ) — об их отсутствии. Экраном является вероятностный вектор  $P = (P_1, P_2, \dots, P_{2n})$ , где  $P_i$  — вероятность того, что возбуждение  $i$ -го элемента будет пропущено. Таким образом, происходит стохастическое преобразование вектора  $a$  в вектор  $a^{(1)} = (a_1^{(1)}, \dots, a_{2n}^{(1)})$ , где  $a_i^{(1)}$  равно 1 или 0, причем

$$P(a_i^{(1)} = 1) = \begin{cases} P_i & \text{при } a_i = 1; \\ 0 & \text{при } a_i = 0. \end{cases} \quad (2)$$

$a$  содержит всегда точно  $n$  единиц и  $n$  нулей, тогда как в  $a^{(1)}$  их  $\leq n$ , так как некоторые единицы «превращаются» в нули. В этом и состоит экранирование. Состояние  $a^{(1)}$  используется ОС для выработки реакции, т. е.  $a^{(1)}$  и является представителем стимульной части  $S(S^{(1)})$ .

Обучение ОС обуславливается обратной связью, т. е. оценкой выбранной реакции  $R$ , поступающей из  $BC$ . Мы принимаем, что эта оценка представляется в ОС значением параметра  $\alpha$  ( $-1 \leq \alpha \leq 1$ ), причем  $\alpha > 0$  соответствует поощрению,  $\alpha < 0$  — наказанию, а  $|\alpha|$  характеризует силу обратной связи.

Обучение экрана состоит в преобразовании вектора  $P$  в новый вектор  $P^{\text{нов}}$  согласно формулам (оператор Буша — Мостелера [1]):

$$P_i^{\text{нов}} = \begin{cases} P_i & \text{при } a_i = 0; \\ (1 - |\alpha| \beta_v) P_i + |\alpha| \beta_v \gamma_v & \text{при } a_i = 1, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\beta_v, \gamma_v$  ( $v = 1, 2, 3, 4$ ) — параметры обучения, принадлежащие интервалу  $(0, 1)$ . Четыре значения  $v$  (в порядке возрастания) связаны с четырьмя различными значениями пары  $(\text{sign } \alpha, a_i^{(1)})$ :  $(1, 1)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(-1, 1)$ ,  $(-1, 0)$ .

$\beta_i$  характеризуют скорость обучения в четырех рассмотренных случаях, а  $\gamma_v$  — направления обучения (точки притяжения оператора (3)). Если допускается полное обучение, то  $\gamma_1 = \gamma_4 = 1$ ,  $\gamma_2 = \gamma_3 = 0$ . Соотношение величин  $\beta_i$  существенно влияет на характер обучения экрана. Например, если  $\beta_1, \beta_4 \gg \beta_2, \beta_3$ , экран будет иметь тенденцию пропускать лишь малую часть входной информации. Заметим, что имеет смысл рассмотрение восьми случаев вместо четырех, беря  $\beta_i$  разными для  $i \leq n$  и  $i > n$ . Это связано с тем, что информация об отсутствии возбуждений сенсорных элементов ( $i > n$ ) обычно меньше используется, чем информация о наличии возбуждений.

Построенная модель облегчает осмысливание многих явлений, наблюдаемых при обучении животных. Приведем пример одного эксперимента, проведенного группой биологов и математиков, в составе которой были и авторы [2]. На некотором расстоянии от пусковой камеры находилась штанга длиной 150 см

с кормушками на концах. В одну из кормушек клался корм и одновременно на расстоянии  $l$  от середины штанги в сторону кормушки с кормом ставился метроном. Птицы (чижи и щеглы) после определенного числа предъявлений должны были научиться постоянно правильно находить нужную кормушку (задача дифференцирования поведения). Оказалось, что чем меньше  $l$ , тем медленнее идет обучение, а при  $l = 30$  см птицы не могут дифференцировать свое поведение. В другой серии опытов  $l$  для каждой птицы было переменным: сначала  $l$  было большим, а в процессе обучения уменьшалось. В этом случае обучение шло вплоть до  $l = 1,5$  см. Это явление наличия разных порогов близости сигнальных комплексов при двух описанных методах обучения в задаче дифференцирования поведения хорошо объясняется моделью экрана.

Действительно, пусть требуется научить ОС отвечать на сигнальный комплекс  $S_1$  реакцией  $R_1$ , а на сигнальный комплекс  $S_2$  — реакцией  $R_2$ . Пусть  $\hat{S}$  — общая часть  $S_1$  и  $S_2$ , так что  $S_1 = \hat{S} \cup (S_1 \setminus \hat{S})$ ,  $S_2 = \hat{S} \cup (S_2 \setminus \hat{S})$ . В процессе обучения  $S_1 \setminus \hat{S}$  будет связываться с  $R_1$ , а  $S_2 \setminus \hat{S}$  — с  $R_2$ .  $\hat{S}$  получает связи как с  $R_1$ , так и с  $R_2$  и поэтому мешает обучению. Степень влияния обуславливается значением величины

$$\hat{P} = \sum_{i \in \hat{I}} P_i, \quad \hat{I} = \{i : \hat{a}_i = 1\}. \quad (4)$$

Полная дифференциация поведения может быть лишь при  $\hat{P} = 0$ . Как видно из выражения (3), состояние  $\hat{P} = 0$  будет устойчивым. Более того, если  $\hat{P}$  мало, произойдет частичное, но значительное обучение ОС, что повлечет быстрое стремление  $\hat{P}$  к нулю. Однако при большой мощности  $\hat{I}$  ( $S_1$  и  $S_2$  очень близки)  $\hat{P}$  может быть малым лишь за счет малости  $P_i$ , входящих в формулу (4), а получение такого события ввиду слабой мощности  $S_1 \setminus \hat{S}$  и  $S_2 \setminus \hat{S}$  маловероятно. Поэтому при мощности  $\hat{I}$  больше порогового обучение практически невозможно. Если же мы сначала возьмем далекие сигнальные комплексы,  $\hat{P}$  мало уже вначале, и обучение пойдет хорошо. При последующем частичном сближении  $S_1$  и  $S_2$  новое  $\hat{P}$  опять мало, так как часть  $P_i$ , входящих в (4), равна нулю.

Это и объясняет возможность дальнейшего успешного обучения. Заметим, что приведенное рассуждение является лишь

осмысливанием рассматриваемого явления. Строгое математическое доказательство представляет значительные трудности.

В работе [3] модель экранирования дополнена до полной модели ОС, которая в испытаниях на ЭВМ проявила многие черты, свойственные поведению животных, в том числе и наличие двух разных порогов обучения в задаче дифференцирования поведения.

Модель адаптивного экранирования (как и полная модель ОС) может быть использована при синтезе систем, предназначенных для решения различных математических и технических задач. К таковым относятся задачи классификации и распознавания образов, задачи оптимального проектирования, задачи оптимизации, задачи массового обслуживания и т. д. В качестве входного  $S$  может рассматриваться любой вектор признаков (не обязательно бинарных). Частичное экранирование этих признаков не только улучшает работу системы, но и позволяет по состоянию экрана (вектор  $P$ ) оценить степень существенности признаков.

В качестве примера применения модели экранирования приведем один алгоритм оптимизации [4], построенный на базе метода наискорейшего спуска, где в роли  $S$  выступает градиент минимизируемой функции. Для выработки очередного направления спуска вычисляются частные производные лишь по переменным, пропущенным экраном (приращения по остальным переменным берутся случайными). Благодаря обучению экрана направления спуска становятся в среднем более перспективными, чем антиградиентные направления. Кроме того, экономится время на оценку градиента. Все это обуславливает высокую эффективность метода.

Список литературы: 1. Буш Р., Мостеллер Ф. Стохастические модели обучаемости. М., Физматгиз, 1962, с. 35—74. 2. Способность птиц ориентироваться в сложной ситуации эксперимента по источнику звука (В. Ф. Корон, А. П. Крапивный, Н. П. Дидиченко, Л. П. Харченко.—Вестн. Харьк. ун-та. Биология, 1974, вып. 6, № 105, с. 128—129. 3. Корон В. Ф., Дидиченко Н. П., Левенко В. В. Одна структурная модель обучаемости.—В кн.: Эвристические модели в психологии и социологии. Киев, 1974, с. 67—76. 4. Корон В. Ф. Метод случайного спуска.—В кн.: Проблемы случайного поиска. Рига, Зинатне, 1976.

Поступила 28 марта 1979 г.

УДК 62.506.2

В. Ф. АНАНИН

### МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МЫШЛЕНИЯ

История психологии свидетельствует, что ее развитие формировалось в основном вокруг таких кардинальных вопросов, как сознание, поведение, мышление [1]. Пожалуй, главным из них

является механизм процесса мышления, приобретающий исключительную роль в период научно-технического прогресса.

Мышление — такой же процесс функциональной особенности мозга, как и целый ряд других, построенных на основе безусловных и условных рефлексов. Поскольку исследование последних приводит на физиологическую основу и на этом пути получены убедительные положительные результаты, адекватно отражающие действительность, мы вправе на такой же основе рассматривать и процесс мышления. С учетом данного подхода попытаемся, хотя бы схематично, представить структурную организацию процесса мышления. Подавляющее большинство исследователей признает, что внешняя афферентация, выраженная в форму ощущений, представляет исходную основу мышления. А это значит, что в структурной организации мышления механизмы формирования афферентной импульсации в анализаторах, начиная с нижних этажей — рецепторов, вплоть до их сенсорных центров коре должны занимать не последнее место. Именно здесь закладываются основы кодирования той объективной действительности, которую предстоит декодировать структурам мозга, ответственным за процесс мышления. Тем более, информация, закодированная на выходе сетчатки, далее передается в высшие центры мозга без искажения [2]. Это кодирование, как известно, проявляется в параметрах распределения нервной импульсации, в ее отдельных пакетах. Для зрительного канала механизмы кодирования на уровне сетчатки, с нашей точки зрения, сводятся к двум основным видам кода: величине импульса отдельного фотона и интегральной оценке группы фотонов, попавших на единичное рецептивное поле [3]. Таким образом, полученная на выходе сетчатки в закодированном виде внешняя информация в дальнейшем служит одним из афферентных видов исходной информации для структур мозга, ответственных за процесс мышления. После рецепторного аппарата «разговор» между различными структурами мозга ведется уже на нервно-импульсном коде.

В соответствии с ранее предложенной моделью формирования зрительной афферентной импульсации [3] последняя по своим проводящим путям поступает в зрительные центры, где проводится ее дифференцированная обработка. Согласно этой модели в каждом из корковых сенсорных центров имеются, выражаясь терминологией вычислительной техники, блоки оперативной или «краткосрочной» (по М. Н. Ливанову) и долговременной памяти. Мы рассматриваем их как те самые «резервуары», из которых в структурные участки мышления поступает информация. Назовем этот вид информации внутренней, которая может быть использована участками мозга, ответственными за мышление, в любое время. Помимо этой информации будем различать еще внешнюю информацию, поступающую в структурные участки мышления как бы в реальном масштабе времени, т. е. непосредственно с выхода рецепторов зрения, слуха и др., как это имеет место при

разговоре. Таким образом, афферентная информация, предварительно сформированная по своим сенсорным каналам в соответствии с их межнейронными детерминированными связями и упакованная в свои сенсорные виды памяти, представляет исходный материал для структурных участков мозга, ответственных за мышление. Последние, находящиеся в теменно-затылочной области левого полушария [4], представляем в виде комплексных систем нейронов, каждая из которых имеет определенную нагрузку

в процессе мышления. Причем эти системы нейронов сформировались, по-видимому, под влиянием необходимости комплексной, т. е. интегративной обработки информации с различных сенсорных каналов. В общем виде взаимодействие этих нейронных систем при мышлении можно представить в виде гипотетической блок-

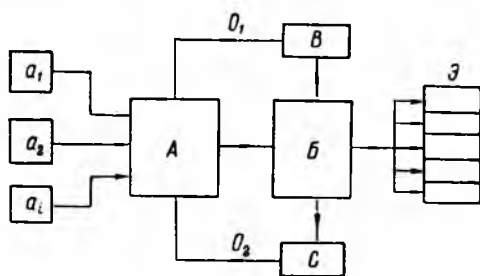


Рис. 1

схемы, которую назовем интегративным центром мозга (ИЦМ) (рис. 1). Последний состоит из блока интегративной обработки *A*, блока восприятия интегративной информации *B*, с его блоками оперативной *B* и долговременной *C* памяти, обратными связями «*O*<sub>1</sub>» и «*O*<sub>2</sub>» и целого ряда нисходящих путей *Э*, по которым из ИЦМ по результатам интегративной работы мозга подаются на исполнительные органы различного рода команды. Афферентная информация (*a*<sub>1</sub> — *a*<sub>*i*</sub>), поступающая на ИЦМ, может быть внутренней и внешней. В качестве подтверждения нашего предположения о наличии ИЦМ можно привести слова И. П. Павлова. «Специальная деятельность больших полушарий, — писал он, — сводится к непрерывному анализу и синтезу раздражений, приходящих как из внешней среды (это главным образом), так и изнутри организма, а после этого эти раздражения направляются в низшие центральные станции, начиная с ближайшей подкорки и кончая клетками передних рогов спинного мозга» [5]. Правда, И. П. Павлов не указал конкретно структурную организацию процесса анализа и синтеза информации, но сама идея необходимости такой обработки является неоспоримой заслугой его.

Таким образом, предлагаемая нами структурная организация процесса мышления строится на многосторонних межнейронных связях между различными структурами мозга. Это построение основывается на анатомо-морфологических, гистологических исследованиях и результатах нейрофизиологии и физиологии условных рефлексов. Допускаем, что эти связи в определенной степени являются наследственными. Однако решающую роль в их формировании и развитии играет внешняя среда и отно-

ление к ней индивида. Создается впечатление, что в нашем мозге как бы заранее закладывается резерв определенного объема межнейронных связей. При этом соответствующая часть резерва в виде безусловных рефлексов с рождения пребывает в активном состоянии. Иначе говоря, по всему замкнутому контуру безусловного рефлекса нервная импульсация распространяется по строго детерминированным путям, т. е. межнейронным связям. Словные рефлексы И. П. Павлова служат, с одной стороны, наглядным примером самого факта образования временных межнейронных связей, а с другой — их можно рассматривать как одну из ступенек в дальнейшем развитии межнейронных связей, на основе этого, приобретение индивидом жизненного опыта.

Рассмотрим функциональные назначения каждого из блоков (ЦМ. П. К. Анохин [2]) считает, что именно внутри нейрона происходит интегративная обработка поступающей на его вход нервной импульсации, а на аксонном выходе нейрона создается результат такой обработки в виде интегративного пакета нервных импульсов. По всей вероятности, обработка афферентной информации, поступающей на вход ИЦМ, осуществляется в рамках интегративного блока А. Полученная же на выходе этого блока интегративная импульсация далее поступает в центр ее переработки Б. По-видимому, центр Б — область мозга, в которой помимо основных сенсорных центров одновременно представлены сенсорные участки разной модальности и прежде всего зрения и слуха. Этот центр можно рассматривать по аналогии со зрительным и слуховым центрами, в которых происходит вторичное преобразование внешней информации в световое и слуховое ощущения. Но только центр Б, по-видимому, следует отнести к более высокому уровню с точки зрения оценки переработки информации. Однако как преобразователь он принципиально, очевидно, не отличается от слухового и зрительного. Только здесь интегративная нервная импульсация трансформируется не в зрительное и слуховое ощущения, а в новую мысль, идею, целый образ. Результат же такой трансформации поступает в блоки оперативной и долговременной памяти этого центра и одновременно через обратные связи может попадать на вход интегрирующего блока А. Попытаемся представить в схематичной форме принцип действия ИЦМ, т. е. процесс мышления. При этом допускаем, что мышление может осуществляться как на основе только внутренней информации, так и комплексного сочетания ее с внешней информацией. Первый случай можно сравнить с той ситуацией, когда человек «занят своими мыслями». Процесс мышления большей частью сопровождается определенным настроением мозга человека на ту или иную ориентацию, в направлении которой он мыслит. А это, с нашей точки зрения, связано с притоком внутренней и внешней информации к ИЦМ. На основе последней интегративный блок А осуществляет ее переработку и в интегративной форме подает на блок Б, транс-

формирующий ее произвольно, или (по Гельмгольцу) путем «бессознательного умозаключения» в первоначальную мысль, идею, фрагмент целого образа истины, которая фиксируется в блоке его оперативной памяти. Затем методом последовательного приближения, путем извлечения дополнительной интегративной информации, которая, в свою очередь, складывается из дополнительного притока внутренней и внешней информации, первоначальная мысль, идея, а на их основе целый образ уточняется. Конечным критерием уточнения этого первоначального образа является истина, адекватно отражающая реальную действительность.

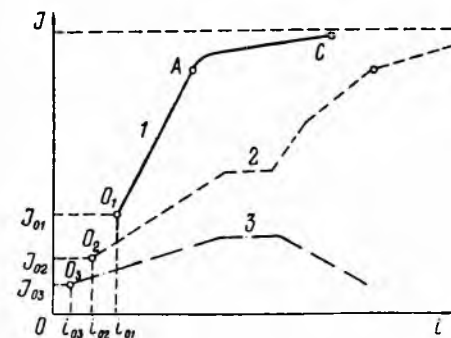


Рис. 2

Но возникает вопрос, каким образом центр  $B$  «решает» для себя, что данный сформированный им образ соответствует истинной? Видимо, таким критерием является многократная проверка образа путем последовательного уточнения с новыми экспериментальными фактами, поступающими к нему через дополнительную внутреннюю и внешнюю информацию. Процесс нашего мыш-

ления можно представить как результат многократного перебора центром  $B$  различных вариантов интегративной импульсации, привлекая для этого разные варианты внешней и внутренней информации. При этом в качестве первоначального образа истины в блоках памяти ИЦМ могут быть несколько моделей ее. И лишь в процессе последовательного уточнения остается одна модель, наиболее адекватно отвечающая реальной действительности. Именно эта модель и фиксируется в блоке долговременной памяти ИЦМ.

Схематично весь процесс последовательного уточнения образа (истины) можно представить в виде кривой (рис. 2). Здесь точка  $O$  соответствует моменту «рождения» новой мысли, первоначального образа при объеме фактов  $l_0$ , а его степень соответствия реальной истине составляет  $J_0$ . Сам процесс последовательного уточнения первоначального образа в идеальном случае можно представить в виде кривой  $OAC$ . Точка  $A$  соответствует моменту, когда в ИЦМ осталась одна модель истины. Именно она, а точнее, адекватное отражение ее реальной действительности «закладывается» в блок долговременной памяти ИЦМ. Можно предположить, что этот вид памяти ИЦМ как бы оберегает от излишней промежуточной информации, а хранит в нем лишь то, что им в процессе перебора и последовательного уточнения окончательно отработано, т. е. факты, соответствующие точке  $A$  на кривой.

Поскольку каждый индивид отличается своим уровнем развития ИЦМ, а истина одна, пути ее поиска, т. е. достижения точки  $A$ , должны быть самые разнообразные. Даже само начало поиска, т. е. точка  $O$ , не может быть одинаковым. Это многообразие объясняется тем, что интегративная импульсация, формирующая точки  $O$  (рис. 2), у разных индивидов различается вследствие разного уровня афферентации, заложенной в блоках памяти сенсорных каналов и информации в блоках памяти ИЦМ. Отсюда следует, что разнообразие первоначальных моделей истины можно рассматривать как закономерное явление. А это создает редпосылки для разных путей познания истины (рис. 2, кривые 1, 2, 3). Очевидно, что наиболее оптимальный путь познания истины может быть представлен кривой ОАС. В то же время следователя, идущего по пути ОА, отличает от других наличие богатой межнейронной связи со значительно большими объемами сенсорной памяти, ориентированными в искомом направлении исключительно развитой интегративной деятельности его мозга, т. е. способностью перебора интегративной импульсации.

Таким образом, кратчайший путь познания истины определяется двумя основными факторами: величиной объема афферентной информации, заложенной в блоках памяти сенсорных центров и ИЦМ и ориентированной на искомую истину; степенью развития интегративной деятельности мозга. По-видимому, оба фактора в значительной степени определяются временным фактором. Иначе говоря, объем афферентной информации в определенной степени зависит от времени, а способность к перебору интегративной импульсации можно рассматривать как своего рода степень натренированности ИЦМ. Очевидно, не последнюю роль играют и врожденные признаки, характеризующие способность развития межнейронных связей и состояние нейронных систем, ответственных за творческий процесс мозга. Разумеется, что к активному процессу мышления мозга причастны и другие вспомогательные индивидуальные признаки индивида, способствующие, в основном, оптимальной деятельности указанных факторов, как воля, трудолюбие, целеустремленность и другие.

Описанный выше творческий процесс мышления наиболее адекватно, с нашей точки зрения, может быть реализован на межнейронных связях. Чем богаче эти связи и больший объем информации накоплен мозгом в блоках памяти и чем чаще индивид обращается к внешней информации, тем более качественной получается интегральная импульсация и, как следствие этого, более производительным становится процесс мышления. Когда же мы говорим об объемах внутренней и внешней информации, имеем в виду прежде всего целенаправленную информацию, непосредственно относящуюся к разрабатываемому образу истины. Разумеется, эта информация может быть самой разнородной, но неизменным признаком ее является то, что какой-то из штрихов дополняет интегративную информацию и на ее основе

уточняет образ. Неудивительно, что «подготовленные умы» способны извлекать необходимую им информацию из, казалось бы, очевидных для всех фактов, не имеющих отношения к данной истине.

И, наконец, важно ответить на вопрос, что заставляет разнородную информацию конвергировать на ИЦМ. Иначе, что служит в качестве той первоначальной команды, стимула, по которой осуществляется конвергенция? По-видимому, это один из кульминационных моментов в понимании межнейронных связей мозга, в том числе и процесса мышления. Мы знаем, что афферентная информация поступает в свои сенсорные центры по заранее установившимся детерминированным межнейронным связям. Причем целый ряд рефлексов, обеспечивающих формирование афферентной информации, как это имеет место, скажем, в зрительном анализаторе, также характеризуется своими детерминированными межнейронными связями [6]. Но если в сенсорных каналах появление афферентной импульсации происходит в результате внешнего возбуждения — фотонов в зрительном анализаторе, приток нервной импульсации к ИЦМ и появление на его основе интегративной импульсации происходит, видимо, по иному принципу. Можно предположить, что для интегративной деятельности мозга характерен преимущественно произвольный режим. Подобно тому, как глаз по команде определенной структуры мозга поворачивается в ту или иную сторону, так и начало интегративной деятельности мозга в том или ином направлении также начинается с соответствующей «команды». Побуждающим стимулом такой команды является сформировавшаяся «потребность», осознанная индивидом. Последняя всегда формируется на определенном объеме внешней и внутренней информации. Итак, первоначально «потребность» как объективный фактор, а затем — начало интегративной деятельности мозга, направленной на реализацию возникшей «потребности».

В интегративной деятельности мозга заложен, с нашей точки зрения, квантовый принцип, т. е. «продукция» ИЦМ в виде отдельных фрагментов образа, мысли, идеи производится отдельными дискретными порциями. Эту способность ИЦМ можно рассматривать как следствие дискретной формы нервной импульсации по сенсорным каналам, которые формируются квантовой природой внешнего возбуждения. Для зрительного канала это наиболее очевидно с учетом представления квантовой или фотонной структуры света. Как было показано ранее [7], произвольные саккадические движения глаз при фиксации выполняют роль биологического модулятора информации, поступающей на вход нашего глаза. При этом совместно с фотонами света эти скачки глаза формируют группы дискретных пакетов нервных импульсов с единичных рецептивных полей сетчатки. Аналогичный механизм модуляции имеет место и при произвольных скачках глаза. Отсюда можно сделать вывод, что адекватное отра-

жение истины в нашем мозге, очевидно, следует рассматривать как результат длительного процесса, связанного с интегративной деятельностью мозга. Именно в течение определенного активного периода работы мозга «рождаются» отдельные фрагменты истины, по результатам которых формируется ее целый образ с последующим уточнением.

Процесс мышления, как указывалось, может осуществляться в двух основных режимах: либо на основе анализа только внутренней информации, либо при комплексном сочетании внутренней и внешней информации. Подобное предположение может быть подтверждено следующим образом. Поступление внешней информации в зрительные центры, как основного информационного канала, происходит в виде отдельных групп дискретных пакетов нервных импульсов, создаваемых, например, при фиксации объекта произвольными саккадическими движениями глаз [7]. Когда же эти движения искусственно убираются, глаз перестает видеть фиксированный объект и создается так называемый эффект стабилизированного изображения с образованием «пустого поля». Исходя из этих данных произвольные саккадические движения глаз рассматриваются нами как своеобразный биологический модулятор, связанный обратными и прямыми связями с ИЦМ [7]. Действие этих связей в зависимости от качественного содержания пакетной импульсации проявляется в изменении скачков относительно исходного уровня, характерного для центра генерации этих скачков. В качестве исходного уровня имеется в виду частота скачков этого центра в темноте. Результаты [7, 8] наших исследований показали, что между ИЦМ и центром генерации скачков имеется четкая корреляция. Это и понятно, если иметь в виду, что скачки глаза на основе внешнего возбуждения формируют исходную афферентную импульсацию для ее последующей обработки в ИЦМ. Особенно заметно эта связь проявляется при инструкции, когда пациент при фиксации точки одновременно выполняет умственную нагрузку в виде арифметических действий, т. е. осуществляет процесс мышления с преимущественной ориентацией на внутреннюю информацию. Было показано [8], что концентрация внимания, связанная с решением различных задач при одновременной фиксации тест-объекта, приводит к резкому уменьшению числа скачков. Эти факты можно интерпретировать как результат временного понижения активной обрабатываемости ИЦМ, если не отключение полностью, к внешней информации. Сама же перестройка в режимах работы ИЦМ и произвольной саккадической системы осуществляется, по видимому, при помощи ретикулярной формации, изменяющей степень активирующего действия на указанные центры.

Сравнительная оценка результатов при фиксации тест-объекта в виде световой точки и более сложного тест-объекта в виде цифры 3 показали, что в последнем случае число скачков уменьшается [8]. Мы объясняем это тем, что когда тест-объект более

сложный и на переработку каждой «порции» нервной импульсации, создаваемой скачком глаза на выходе сетчатки, ИЦМ требуется больше времени, т. е. его инерционность, а вместе с ним и инерционность всего процесса мышления возрастает, интервал между скачками тоже увеличивается, что и подтверждено нашими экспериментами.

Опыт со «стирающимся» тест-объектом (угловые размеры тест-объекта 15 мин), когда последний предъявляется на фоне меняющейся шумовой картины (предъявлялись светящиеся цифры в случайном порядке на короткое время — (0,2 — 0,4) с и среди них одна из цифр — тройка должна была опознаваться индивидом с фиксацией момента ее опознания), показал, что резко уменьшается число произвольных саккадических движений глаз [8]. Это можно объяснить, видимо, сильной мобилизацией ИЦМ для решения поставленной перед индивидом задачи, требующей наибольшей сосредоточенности и внимания. Причем эта мобилизация, как указывалось, достигается повышенным тонизирующим действием нейронов ИЦМ со стороны ретикулярной системы. Было также замечено, что после опознания цифры «3» увеличивалось число произвольных скачков. Этот факт можно рассматривать как своего рода разрядку ИЦМ, а вместе с ним и центра генерации скачков от их мобилизации.

Весьма убедительными оказались результаты по индивидуальному разбросу произвольных саккадических движений глаз между индивидами при характерном почерке для каждого из них [7]. Мы, конечно, далеки от мысли, что по характеру скачков в какой-то степени можно судить о процессе мышления индивида, но тем не менее между ними, на наш взгляд, имеется определенная взаимосвязь. По крайней мере результаты наших экспериментальных исследований [7, 8] привели к необходимости ответа на вопрос о целесообразности подобной взаимосвязи.

Вопрос о взаимосвязи мышления и бытия, с нашей точки зрения, можно рассматривать как взаимодействие внешней афферентации с ИЦМ и на ее основе порождение интегративной деятельности мозга. Отсюда следует, что внешняя афферентация, т. е. бытие, является исходной основой для ИЦМ, на базе которой формируется, развивается и совершенствуется интегративная деятельность нашего мозга. В свою очередь по результатам последней человек определяет целенаправленное воздействие на окружающую его среду, трансформируя ее в соответствии со своими потребностями, определяемыми как центрами выживания, так и результатами ИЦМ. Недостаток афферентации вследствие нарушения сенсорных каналов, а тем более ее почти полное отсутствие, как это имеет место от рождения у слепоглухонемых, сдерживает развитие интегративной деятельности мозга со всеми вытекающими последствиями [9]. Наиболее резко она проявляется на слепоглухонемых при отсутствии искусственных средств компенсации. Но в то же время известно, что даже

у слепоглухонемых от рождения при искусственном введении афферентации в мозг тем или иным способом, интегративная деятельность мозга может быть развита до уровня среднего с интеллектуальной точки зрения человека и даже выше. Все зависит от объема афферентной информации, которую удается данным индивидам «закладывать» в свой мозг, и их настойчивости на основе этой информации осуществлять тренировку ИЦМ. Разумеется, что степень успеха этой деятельности сопровождается такими психологическими факторами, как воля, трудолюбие, стремление к познанию и др. Данные примеры убедительно свидетельствуют, с одной стороны, о тесной взаимосвязи афферентных каналов с ИЦМ и возможностях нейронных связей, а с другой — о первичности афферентации по отношению к ИЦМ. Таким образом, человека и, в частности, интегративную деятельность его мозга следует рассматривать как продукт общественно-исторического развития.

**Список литературы:** 1. Ярошевский М. Г. История психологии. М., Мысль, 1976. 462 с. 2. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. М., Медицина, 1975. 448 с. 3. Ананин В. Ф. Биотехнический подход к исследованию механизмов кодирования внешнего стимула в сетчатке глаза и их роль в зрительном процессе. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 18, с. 61—70. 4. Лурия А. Р. Мозг человека и психические процессы. М., Педагогика, 1970. 495 с. 5. Павлов И. П. Избранные труды. М., Учпедгиз, 1950. 263 с. 6. Школьник-Яррос Е. Г. Нейроны и межнейронные связи. Зрительный анализ. Л., Медицина, 1965. 227 с. 7. Ананин В. Ф. О механизме и роли произвольных саккадических движений глаз в зрительном процессе. — Физиология человека, 1976, т. 2, № 5, с. 751—756. 8. Филин В. А., Ананин В. Ф. Непроизвольные движения глаз при опознании точечных объектов. — Вопросы психологии, 1974, № 4, с. 128—132. 9. Бюрклен К. Психология слепых. М., Учпедгиз, 1934. 264 с.

*Поступила 6 апреля 1978 г.*

УДК 612.82.014.001.57

*Г. А. КОЛОТЕНКО*

### **ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

Разработка многоканальных бионических устройств, комплексов и систем, обеспечивающих анализ переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга при различных функциональных состояниях организма, является одной из актуальных задач, стоящих перед биологической и медицинской кибернетикой. Наиболее важным в этом вопросе является построение и алгоритмизация информационно-поисковых методов для системного исследования переменных пространственно-временных организаций разнообразных потен-

циалов головного мозга, позволяющих оптимально кодировать и сжимать отображаемые параметры биоэлектрической активности, регистрируемой от множества зон головного мозга. Преимуществом подобных устройств, комплексов, систем на многопортовых логических элементах, сгруппированных в блоки и субблоки в интегральном исполнении, делают эти методы в плане технической реализации простыми. Автоматический анализ переменных пространственно-временных потенциалов головного мозга позволяет: выявить структуру их признаков, выраженных в форме вариационных рядов разных рангов; определить достоверное распределение индивидуальных весов и по степени их проявления в комплексе с многочисленными методами анализа, используемыми в клинике и эксперименте, проводить объективную дифференциальную топодиагностику. Алгоритмизация информационного поиска переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга в форме признаков вариационных рядов позволяет проводить в реальном масштабе времени целенаправленный отбор дифференцируемых пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга. Рассмотрим некоторые вопросы системного исследования переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга и их возможной реализации в бионическом аспекте.

Из представленных в данном сборнике материалов можно предположить, что пространственно-временные организации потенциалов головного мозга зарождаются и протекают в самодвижении. В моменты времени  $t_0, t_1, \dots, t_n$  они находятся в одном из условно-дискретных состояний  $x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$ .

Дискретность и непрерывность пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга едины и неразрывны, поэтому исходная гомоморфная система информационной связи между потенциалами головного мозга, распределенными во времени и в плоскости пространства регистрации, объективна, а отображенная — аналогична ей. Переменные пространственно-временные организации синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, выраженные системами информационной связи в отсчетный момент времени  $t_i$ , находятся в состоянии  $x(t_i) = x_i$ , где  $(i = 0, n)$ . Вероятность  $p_i$  такой системы связей головного мозга как случайного события в тот же момент времени равна

$$p_i(t_i) = p[x(t_i) = x_i], \quad (i = 0, n).$$

Для генеральной совокупности переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга количество регистрируемых потенциалов бесконечно. Для репрезентативной реализации частота или вес пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга конечен. Механизм амплитуд-

ного квантования позволяет выделить, закодировать и отсортировать (проранжировать) множество переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга на разных уровнях активности, в результате чего появляется реальная возможность сопряжения любого числа каналов регистрации в любом сочетании.

Исходя из положения нейрокинетики, доказывающей существование начала фаз нейронной импульсации на разных уровнях активности, перспективный многоуровневый анализ позволяет воссоздать иерархическую пространственно-временную картину нейрональных синтезированных процессов головного мозга. Во времени на разных амплитудных уровнях активности, трансформируясь, переменные пространственно-временные организации синхронных и асинхронных потенциалов меняют фазы, частоту, амплитуду, передние и задние фронты, скважность и т. д. В этом случае система информационных связей головного мозга переходит из одного состояния в другое.

Если, например, в начальный момент  $t = 0$  на нулевой оси система связи находилась в состоянии  $x [x(0) = x_0]$ , в бесконечно малый промежуток времени  $t_0$  на уровне биэлектрической активности, не равной, хотя и устремленной к нулю, она может перейти в состояние  $x_1 [x(t_0) = x_1]$  положительной и отрицательной полярности, определяющей направленность локального самодвижения. Локальность в данном случае подчеркивает степень взаимоотношений между регистрируемыми потенциалами головного мозга, распределенными в пространстве и времени.

Переход пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга дает возможность в дополнение к известным автоматизированным методам анализа получить информацию о системных проявлениях деятельности коры больших полушарий и в предельном случае может быть проведен на одном уровне анализа. На одном и том же уровне пространственно-временные организации синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга имеют разнообразные переменные структуры, варьирующий вес, своеобразие общей направленности, если оно, конечно, имеется. При неравенстве амплитудных уровней длительности импульсов пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, а также вес меняются, но общая направленность сохраняется. Множество систем  $x_0, \dots, x_n$  информационных связей, обозначенных с учетом переходных процессов  $x = \{x_0, x_n\}$ , можно представить множеством вершин графа. Состояния этих систем векторны, так как имеют не только скалярные количественные и качественные характеристики, но и обладают вероятностной направленностью, в процессе которой меняется морфология структуры этих систем связей. Рассматривая последовательность состояний систем связей головного мозга, необходимо исходить из тривиального случая: последующее состояние системы  $x_i$  пространственно-временных

связей головного мозга следовало за предыдущим состоянием системы  $x_{i-1}$  и никак невозможно, чтобы  $x_i$  следовало сразу после  $x_{i-2}$ , минуя  $x_{i-1}$ . Итак, последующее состояние систем синхронных и асинхронных связей головного мозга зависит от предыдущего состояния, возникло и развилось из него и не может существовать без него. Линии, соединяющие состояние систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, обозначенные вершинами графа, в таком случае представляют самодвижение систем этих связей и могут характеризоваться ребрами графа. Состояние системы связей головного мозга представляет множество переменных пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга в регистрируемый момент времени. Как видно, отделение и кодирование пространственно-временных организационных потенциалов головного мозга из аналогового нестационарного биоэлектрического процесса происходит временным сечением и соответствующим ему амплитудным квантованием этого процесса распределенных на поверхности или в объеме пространства и образующих информационное поле, от которого производится регистрация. Переход пространственно-временных организационных потенциалов головного мозга соответствует величине  $R(x_i, x_j)$  где  $x_i$  — начальное состояние, а  $x_j$  — последующее или конечное состояние преобразованной организационной потенциалов. Если  $R(x_i, x_j) \approx R(x_j, x_i) = 1$ , состояния пространственно-временных организационных потенциалов головного мозга  $x_i$  и  $x_j$  являются рядом лежащими. Состояние  $x_i$  систем связей головного мозга изолировано при условии

$$\sum_{j=0}^n R(x_i, x_j) = \sum_{j=0}^n R(x_j, x_i) = 0,$$

т. е. пространственно-временные организационные потенциалы головного мозга не могут выйти из этого состояния, что наступает при существенном моменте. Самодвижение систем связей исследуемых областей головного мозга заключается в непрерывном изменении, неизбежно вызывая изменение в окружающей среде. Система связей головного мозга может перейти из состояния  $x_i$  в последующее состояние  $x_j$  при условии

$$\sum_{j=0}^n R(x_i, x_j) > 0, \quad \sum_{j=0}^n R(x_j, x_i) > 0.$$

Состояние  $x_i$  системы синхронных и асинхронных связей головного мозга называется транзитивным при названном условии. Система связей головного мозга в транзитивном состоянии не устойчива и непременно покидает его.

Последовательность ребер графа от состояния к состоянию образует маршрут информационного поиска, начинающегося в  $x$  и заканчивающегося в  $x_{i+n}$ . Состояния систем связей головного мозга могут быть структурно аналогичными, но не адекватными

уть саморазвития систем синхронных и асинхронных связей головного мозга неповторим.

Подмножество состояний  $x$  систем синхронных и асинхронных связей головного мозга называется замкнутым, если для любого состояния  $x_i \in x$  существует маршрут, выводящий пространственно-временные свойства биоэлектрической активности за пределы подмножества  $x$ . Иначе найдется такое  $x_j \in x$ , что  $1(x_i, \dots, x_j) = 1(x_i \in x)$ .

Обозначим  $R_{i,j}(t, \tau)$  — условную вероятность состояния  $x_j$  системы синхронных и асинхронных связей головного мозга в моменты времени  $t = t + \tau$  при условии, что в момент времени  $t_0$  она находилась в состоянии  $x_i$ , где  $\tau$  — бесконечно малая величина, позволяющая отличить состояния  $x_i$  и  $x_j$  системы связей головного мозга. Раз не учтено влияние систем окружающей среды, то исследуемые пространственно-временные организации синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга будут марковскими. В таком случае пространственно-временные организации потенциалов головного мозга будут характеризоваться пуассоновской интенсивностью потока событий  $\lambda_{i,j}(t)$ . Тогда вероятности состояний  $x_i$  и  $x_j$  иерархических систем синхронных и асинхронных связей головного мозга можно аппроксимированно описать дифференциальным уравнением

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = - \sum_{j=0}^n \lambda_{i,j} p_j(t) + \sum_{j=0}^n \lambda_{j,i} p_j(t),$$

решаемым по правилам Коши.

Моделируемые пространственно-временные организации потенциалов головного мозга представляют позиционные системы и подсистемы совмещенных и спектральных синхронных и асинхронных связей в форме признаков вариационных рядов иерархических рангов. Системы связей головного мозга имеют структуры, характеризующиеся переключательными функциями или сочетаниями вариационных рядов, и вес, накопленный за реализацию, который меняется не только при переходе из одного состояния в другое, но по некоторым составляющим имеет вероятную направленность при различных функциональных состояниях. Логическая функция, равная логической единице «1» веса пространственно-временных организаций, поэтапно выделяется при переходе на шаг от одного дифференцируемого признака переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга к другому, в соответствии с чем строится граф. Пусть на очередном шаге процесс поэтапного информационного поиска логической функции не окончен. На следующем иерархическом уровне структур, выраженных в виде признаков вариационных рядов, необходимо отыскивать логическую функцию от данного ранга. Здесь наблюдается вероятная направленность изменения весов, в результате чего в графе появляется дополнительное ребро. Рост ранга структуры призна-

ков на ранг, что соответствует перемещению по маршруту матрицы информационного поиска на шаг, как правило, снижает вес систем связей головного мозга в 1,5—2,5 раза. В соответствии с общей топологией рабочих констелляций, свойственных динамическому стереотипу в определенный момент времени, переход от одного функционального состояния к другому экзальтирует одни вариабельные пространственно-временные организации синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, депрессирует, угнетает, трансформирует другие, меняя вес, структуру и вариативную направленность пространственно-временных межцентральных отношений.

Исследования верифицированных реализаций 40 больных с опухолями теменной области и центральных извилин, с резко диффузными изменениями потенциалов головного мозга, затрудняющими определение опухолевой локализации, и 40 практически здоровых лиц показывают: системы синхронных связей каждой стороны головного мозга при норме, включающие лобнук правую долю, активно коммутируют с одной из зон противоположной, формируя двоякоцентровость расхождения систем по данным среднеквадратических отклонений. Эти системы кибернетических связей образуют на фоне диффузной фронтально-окципитальной асимметрии регистрируемых потенциалов левостороннюю билатеральную асимметрию анализируемого веса пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга (при пробе Бергера). При внешнем раздражителе — фотостимуляции с частотой 8 Гц — увеличение значений среднеквадратических отклонений веса по обеим сторонам стремится к симметричности, но билатеральная асимметрия веса систем видоизменяется. При аутосуггестии покоя вес пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга перемещается на более высокий уровень. Он отличается от веса в случае с фотостимуляцией 8 Гц в 1,5—2 раза на левой стороне, в 3—4 раза — на правой. Эти системы связей отображают общую направленность веса.

В период фона интенсифицированы системы совмещенных синхронных связей височно-затылочных зон с выраженной диагональной подсистемой левой височной — правой затылочной. В системе правой затылочно-теменной спектральной синхронной связи, перерастающей в структуры любого иерархического ранга, затылочная зона выполняет функции переходного момента от состояния аутосуггестии покоя к состоянию при афферентной нагрузке.

При фотостимуляции 8 Гц форма совмещенной системы синхронных затылочно-височных связей имеет разрыв между височными долями; акцент на левой затылочной зоне дополняется подсистемой теменно-затылочных синхронных связей. Увеличивается расхождение лабильности системы спектральных синхронных связей затылочной области обеих сторон — височной левой.

При аутосуггестии покоя доминируют системы односторонних височно-затылочных локальных совмещенных синхронных связей височной зоны, меньше затылочной правой стороны коммутируют стабильную систему височно-затылочных спектральных синхронных связей левой стороны, определяя переход от автономности к взаимосвязанности, особенно на уровне признаков вариационного ряда, подключая к левосторонним переменным системам структурные компоненты подсистемы правосторонних теменно-затылочных спектральных синхронных связей головного мозга.

Интрацеребральные опухоли с преимущественной локализацией центральных извилин в теменной области имеют расхождение веса систем синхронных связей на правой стороне с акцентом на височной зоне, меньше — на затылочных участках, большей выраженности при левосторонней опухоли.

Опухоль левой стороны определяет кибернетическую систему синхронных связей затылочной области с подключением левосторонней теменной зоны. Активируется система височно-теменно-затылочных диффузно-синхронных связей, перерастающая в гиперсинхронные, переменным коммутирующая с разной степенью интенсивности одну-две зоны, кроме, как правило, лобных — противоположной стороны. Суперпозиция систем информационных связей затушевывает диагональную подсистему височной левой — затылочной правой. На фоне диффузно разлитой картины регистрируемых потенциалов дифференцируется тенденция к билатеральной асимметрии систем синхронных связей со смещением на левую сторону головного мозга.

Правосторонняя опухоль активизирует информационно-статистическую устойчивую систему синхронных связей височно-теменной правой — затылочной левой, коммутируя левостороннюю теменную зону.

Распределение весов в вероятном диапазоне дифференцируемых признаков пространственно-временных организаций совмещенных синхронных потенциалов головного мозга при состоянии нормы полимодально. Минимальные веса не превышают 40—50 бит. Высоки и сконцентрированы в узкой унимодальной полосе веса системы связей  $O_d - O_s$  (83—86 бит),  $T_d - O_s$  (71—79 бит). Характеристические функции  $H_{11}^2$  и  $H_{16}^2$  маркирующие и устанавливающие местоположение систем совмещенных синхронных связей  $T_d - T_s$ ,  $O_d - T_s$  в период фона по сравнению с другими функциями состояниями примерно на байт меньше,  $O_d - T_s$  — на 20 бит. Веса математических ожиданий системы  $T_s - O_s$  отличаются на 15 бит: верхняя граница вероятного интервала признака  $\sup \mu_n = 92$  бит при аутосуггестии покоя, нижняя  $\inf \mu_{fc} = 68$  бит при фотостимуляции 8 Гц. Вес системы  $T_d - O_d$  в периоды фона и аутосуггестии покоя дифференцируется на 10 бит. По коэффициенту сравнения вероятная направленность  $T_d - O_d$  выявляет стабильность и устойчивость системы синхронных связей при различных функциональных состояниях голов-

ного мозга. Математическое ожидание систем информационных связей головного мозга при фотостимуляции 8 Гц равен 32 битам, при аутоуггестии покоя (относительно фона) отличается в два раза. Коэффициент вариации фона и аутоуггестии покоя равен 70 бит, что в два раза превышает вес систем совмещенных синхронных связей, фиксируемых при фотостимуляции 8 Гц.

По среднеквадратическому отклонению веса систем дифференцируется система  $O_d - T_s$ : в периоды фона и аутоуггестии покоя тенденция к разбросу весов однонаправлена, объем веса в два раза больше, чем у систем связей, полученных при фотостимуляции 8 Гц. Если центры тяжести систем связей  $H_{23,25}$  не превышают 25—50 бит,  $H_{17}^2 = 82 - 85$  бит, нивелируя дифференциацию индивидуальных весов системы совмещенных синхронных связей, вес среднеквадратических отклонений отличается четко, особенно  $F_s - O_s (H_{24}^2)$ . Вес системы совмещенных синхронных связей  $H_{24}^2$  при аутоуггестии покоя возрастает до 99,5 бит, т. е. в 5,41 раза по сравнению с фотостимуляцией 8 Гц. При аутоуггестии покоя системы совмещенных синхронных связей  $F_s - T_s$ ,  $F_s - O_s$ ,  $F_s - P_s$  имеют больший вес, чем при других функциональных состояниях, поэтому высока их относительная ошибка  $m_n = 17 - 27$  бит. Аналогична направленность веса системы совмещенных связей  $O_d - O_s$ : при аутоуггестии покоя — 66,8 бит, фоне — 55,5 бит, фотостимуляции 8 Гц — 34 бит. Коэффициент сравнения  $K_c = \sigma_n / \sigma_{фс} = 1,95$  выявляет отличие в разбросе весов систем совмещенных синхронных связей исследуемых функциональных состояний в два раза.

Эти данные свидетельствуют о том, что в период аутоуггестии покоя системы совмещенных синхронных связей  $F_s - T_s$ ,  $F_s - P_s$ ,  $F_s - O_s$ ,  $O_s - O_d$  стабильны по сравнению с системами информационных связей, полученных при других функциональных состояниях.

Анализ и синтез моделей множества соподчиненных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга с учетом данных вопросов позволяет представить информацию об изменении биоэлектрической активности головного мозга в простой и наглядной форме. Представленный материал апробирован. Идентификация методов анализа для системного исследования переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга дает возможность в дополнение к известным автоматизированным методам анализа биоэлектрической активности получить полезную информацию о системных проявлениях деятельности коры больших полушарий.

Системно-кибернетический подход к автоматизированному анализу переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга аде-

кватен иерархическому принципу управления в технике. Бионические устройства, комплексы и системы, построенные по иерархическому принципу, позволяют распределять функции управления между соподчиненными частями — электронными блоками и субблоками в интегральном исполнении, которые срабатывают при вероятном весе, накопленном за определенное время.

*Поступила 13 октября 1978 г.*

УДК 612.82.014.42.001.57

*Г. А. КОЛОТЕНКО*

### **ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ СВЯЗЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

С развитием бионики, медицинского и биологического приборостроения все большее место в клинической и экспериментальной диагностике занимает системный автоматический анализ информации, представленной в форме электроэнцефалосигналов.

Многоканальные микроминиатюрные приборы, комплексы и системы позволяют кибернетически анализировать иерархию переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, повышать качество и эффективность методов дифференциальной топографии.

В связи с ограниченными техническими и методическими средствами задачи первичной обработки, кибернетического анализа и их бионического воплощения, а также сжатия биоэлектрической информации остаются нерешенными.

В этом аспекте оптимизация системы человек — машина — это целенаправленный поиск значений влияющих факторов, при которых достигается экстремум критерия оптимальности сложной эргатической системы. Оптимизация осуществляется в условиях ограничений на возмущающие факторы и функции отклика с тем, чтобы не вызвать отрицательных психофизиологических явлений. Предметом исследования является множество иерархических систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга переменных структур операторов АСУ.

Общая задача заключается в том, чтобы при помощи кибернетического анализа ЭЭГ колебаний, распределенных в пространстве и времени, разработать технические условия для саморегулирующегося бионического устройства, позволяющего оператору АСУ сократить затраты времени и материальные средства на выполнение им производственных операций. Это невозможно без прогнозируемого контроля за психофизиологическим состоянием операторов АСУ, без реализации некоторых эффектив-

ных психотерапевтических средств, без выработки психогигиенических мероприятий и внедрения их в коллективы операторов АСУ, без кибернетического дифференцированного анализа нейрофизиологических процессов в условиях производственной среды.

Последнее можно решить при помощи математических моделей, представляющих систему уравнений, связывающих множество дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга иерархических структур с влияющими факторами. Такие модели должны быть реализованы при помощи электронных регулирующих устройств.

Ценность модели в том, что она дает информацию о степени влияния возмущающих факторов на организм операторов АСУ, позволяет количественно определить реакцию организма операторов при заданном режиме работы эргатической системы, может служить базовой основой для оптимизации процессов эргатической системы.

Кибернетическая модель синхронных и асинхронных связей головного мозга оператора АСУ позволяет воспроизвести вероятностные составляющие пространственно-временного распределения ЭЭГ волн при различных функциональных составляющих, поэтому в значительной мере адекватна оригиналу. Нейрокибернетические модели синхронных и асинхронных связей головного мозга отображают количественные изменения электрической активности мозга, не касаясь качества нейрофизиологических процессов.

Если независимые целенаправленные возмущения, влияющие на функциональное состояние операторов АСУ, обозначить  $A, B, \dots, L$ , а отклики, выраженные в форме систем и подсистем синхронных связей головного мозга, зависящие от этих возмущений (факторов) —  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , то

$$F_i = F(A, B, \dots, L), \quad i = 1, 2, \dots, \quad A = x_1, \dots, F_1 = y_1, \dots$$

Тогда плоскости гомоморфных моделей, измеряемые метрическим пространством, можно считать поверхностью отклика или поверхностью множества иерархических систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Координатное пространство, по осям которого отложены возмущения, соответственно называется возмущающим пространством. Если можно устанавливать вероятностную зависимость между возмущающими пространствами и поверхностями множества иерархических систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, то сопряжение физиологических показателей операторов АСУ и входных параметров ЭВМ реально.

В отличие от жестких системных связей, устанавливающих функциональную зависимость и характеризующуюся точечной оценкой, вероятностная зависимость между системами дифференцируемых синхронных и асинхронных связей головного мозга, обусловленная индивидуальными особенностями ЭЭГ, характеризуется интервальной оценкой. Доверительный интервал, зави-

сящий от веса систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, при различных функциональных состояниях операторов АСУ представляет собой диапазон весов индивидуальных систем синхронных и соответственно асинхронных связей головного мозга, ограниченный предельными точками этого интервала.

Дифференцируемые системы синхронных и асинхронных связей головного мозга характеризуются состоятельными оценками, чаще всего минимальной дисперсией. Для проверки вероятностного воспроизведения систем синхронных и асинхронных связей головного мозга при различных функциональных состояниях можно найти отношение наибольшей из оценок дисперсий к сумме всех оценок дисперсий. Это не что иное, как расчетное значение критерия Кохрена:

$$G_p = \frac{\max s_i^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2},$$

где  $p = 1 - \rho$  — уровень значимости.

Расчетные и экспериментальные данные показывают, что оценки дисперсий множества систем синхронных и асинхронных дифференцируемых связей головного мозга разных ЭЭГ выборок с вероятностью, близкой к достоверности, однородны.

Оценки однородных дисперсий параллельных множеств систем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ при различных функциональных состояниях соответственно можно усреднить:

$$s_F^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i^2,$$

где  $s_F^2$  — вероятностная оценка дисперсии воспроизводимости. При этом необходимо учитывать возможность ошибок первого и второго рода, не исключающих доминирования оценок неоднородных дисперсий.

Функциональное состояние операторов АСУ зависит от ряда возмущений или факторов (экстеро- и интерорецептивных раздражителей). Возмущения можно представить системой  $j$ -степеней свобод, определяющих структуру, частоту и вариабельность возмущений. При симплексном подходе степени свободы возмущений формируют многогранник, имеющий  $n + 1$  вершину, где  $n$  — число возмущений, влияющих на функциональное состояние операторов АСУ, характеризуемое множеством дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. В таком случае вероятностные зависимости между системой возмущений и множеством дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ при различных функциональных состояниях позволяют установить

вероятный экстремум критерия оптимальности, при котором движение симплекса прекращается.

Анализ систем возмущений, представленных в виде «латинского квадрата», позволяет обобщить предыдущие методы кибернетического анализа систем синхронных и асинхронных связей головного мозга по «положению». Если существует ряд целенаправленных возмущений  $A, b, c, D$ , для отображения их варибельного воздействия образуется матрица («латинский квадрат»):

$$\begin{vmatrix} c & D & A & b \\ b & c & D & A \\ A & b & c & D \\ D & A & b & c \end{vmatrix}.$$

Эта матрица есть не что иное, как математическое дополнение. Вычеркнув первую строку и первый столбец, получим математическое дополнение иного рода («квадрат Юдена»), который обозначается  $\nabla ABCD$ , где  $\nabla$  — оператор. Признаки возмущений, варьирующие в различной структурной иерархии, в зависимости от частоты могут характеризоваться короткими и вариационными рядами. В предельном случае могут быть выявлены доминирующие возмущения. Между «латинским квадратом» возмущений и множеством дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга можно установить вероятностно-статистическую зависимость.

При изменении координат плоскости возмущений функция отклика в окрестности нового начала координат разложится в ряд Тейлора:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \beta_{12} x_1 x_2 + \dots + \beta_{(n-1)n} x_{n-1} x_n + \\ + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \dots + \beta_{nn} x_n^2 + \dots,$$

где  $\beta_0 = y(0, \dots, 0)$  — значение функции отклика в начале координат:

$$\beta_i = \frac{\partial y}{\partial x_i}; \quad \beta_{ij} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j}; \quad \beta_{ii} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 y}{\partial x_i^2}.$$

Если вместо  $\beta$  записать  $b$ , подразумевая под этим соответствующие выборочные оценки, процесс вероятностной зависимости между множеством возмущений и множеством систем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ можно смоделировать при помощи регрессионного уравнения  $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n$ .

Для удобства вычислений вероятностное варьирование связей между возмущениями и откликами зависит от кодированных переменных  $+1$  и  $-1$ .

Если перейти в плоскость исследований полного факторного эксперимента, то свойства матрицы, устанавливающей вероят-

постную зависимость между множеством целенаправленных возмущений и множеством дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ, опишем в виде

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 0; \quad \sum_{i=1}^N x_{ij}^2 = N.$$

Матрица полного факторного эксперимента ортогональна:

$$\sum_{i=1}^N x_{il} x_{im} = 0 \quad (l \neq m),$$

где  $N$  — число опытов полного факторного эксперимента;  $i$  — номер опыта;  $j, l, m$  — номера факторов (возмущений).

Если  $N = 2^n$  — общее количество опытов в матрице планирования, где  $n$  — число возмущений, то можно записать уравнения регрессии, вероятностно характеризующих взаимосвязь системы возмущений и множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; \quad b_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{i,i} y_i;$$

$$b_{lm} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{il} x_{im} y_i \quad (l \neq m).$$

Коэффициент регрессии значим, если  $|b| \geq s_b t$ , где  $t$  — критерий Стьюдента;  $s_b$  — оценка дисперсии, равная  $s_b^2 = s_F^2/N$ .

Затем проверяется адекватность уравнения регрессии, состоящая в способности достаточно точно описывать поверхности множества дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга с помощью критерия Фишера:

$$F_p = \frac{[\max(s_{aF}^2, s_F^2)]}{\min(s_{aF}^2, s_F^2)},$$

где  $s_{aF}^2$  — оценка дисперсии адекватности,

$$s_{aF}^2 = \frac{1}{N-b} \sum_{i=1}^N (y_i^2 - y_i^p)^2.$$

Здесь  $b$  — коэффициент регрессии искомого уравнения, включая свободный член;  $y_i^2, y_i^p$  — множества дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга в  $i$ -м опыте;  $N$  — число опытов полного факторного эксперимента.

С оценкой дисперсии адекватности связано число степеней свободы:  $f_{aF} = N - b$ . Уравнение регрессии считается адекватным, если выполняется условие  $F_p \leq F_k$ , где  $F_k$  — значение критерия Фишера.

Информацию о форме поверхности целенаправленных возмущений, определяющих множества дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ, можно описать при помощи уравнения в канонической форме:

$$y - y_s = b_{11}z_1^2 + b_{22}z_2^2 + \dots + b_{nn}z_n^2,$$

где  $y$  — системы дифференцируемых синхронных и асинхронных связей головного мозга;  $z_i$  — новые переменные величины;  $b_{ii}$  — коэффициенты канонической формы.

Для изучения формы поверхности возмущений и поверхностей множества дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга могут применяться приемы контурно-графического анализа, позволяющие получить дополнительную информацию о вероятностной взаимосвязи между целенаправленными возмущениями и системами синхронных и асинхронных связей головного мозга путем линейной интерполяции экспериментальных данных и построения на возмущающей (факторной) плоскости.

С увеличением возмущений резко возрастает количество опытов полного факторного эксперимента. Сужение «латинского квадрата» к доминирующим возмущениям позволяет свести множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга к «дробным репликам», имеющим смысл при наличии дифференцируемых аналогий пространственно-временных связей.

В процессе установления вероятностных зависимостей между плоскостью возмущений и плоскостями множества дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга устраняется ряд помех, в частности временной дрейф, обуславливающий временные изменения.

Связи между множеством возмущений и откликами в форме систем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ многоконтурны и разнообразны. Не менее сложны и разнообразны системы откликов и возмущений. Так, непустое множество систем синхронных связей головного мозга, выраженное однородными признаками вариационного ряда, включает структуры ~~равного количества~~ варьируемых компонент. Системы синхронных связей головного мозга, характеризуемые признаками этого однородного вариационного ряда, имеют эквиполентные структуры. Однако иметь равное количество структурных компонент не означает одинакового содержания. Аналогично эквиполентны связи между плоскостью возмущений и плоскостью систем синхронных и асинхронных связей головного мозга при различных функциональных состояниях операторов АСУ, обусловленных равным, но переменным множеством возмущений. Существенное значение имеет параметричность, интенсивность возмущений.

Дифференциация вероятностной зависимости между плоскостями возмущений и множествами систем синхронных и асинхронных связей головного мозга позволяет установить количественное полиадическое отношение между исходной системой ЭЭГ колебаний и отображенной гомоморфной моделью. В таком случае множества систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ при различных функциональных состояниях обладают предикабельным свойством, устанавливающим, с одной стороны, отношение к самим себе, с другой — к другим связям, возникающим в эргатической системе.

Множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга распределены во времени и пространстве. Распределение систем синхронных и асинхронных связей головного мозга во времени представляет последовательную смену систем связей головного мозга. Распределение систем синхронных и асинхронных связей головного мозга в пространстве означает  $n$ -мерный порядок и протяженность этих связей в объеме целостного мозга и его окрестности.

Системы и подсистемы синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ и множества систем варьирующих возмущений сигнитивны, так как выражены при помощи символов. Символика, представляющая систему знаков, позволяет выразить разнообразие взаимосвязей между плоскостью возмущений и плоскостью систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Система возмущений случайна, несмотря на то, что является продуктом необходимого функционирования технических средств детерминированной АСУ. Следовательно, связи между плоскостью возмущений и плоскостью синхронных и асинхронных связей головного мозга случайны. Но дифференцируя множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга не означает дифференциацию возмущений. Отсюда псевдопарадокс: при редко случайных системах возмущений возможны множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга с вероятностным распределением весов. Такой подход акцентирует внимание на функциональном состоянии и затеняет важность плоскости возмущений, которая при сопряжении физиологических показателей оператора АСУ с ЭВМ в некоторых случаях оказывается решающей в установлении структуры (относительно устойчивых отношений) между плоскостью возмущений и плоскостью множества дифференцируемых систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Это позволяет установить количественную меру сопряжения электрофизиологических показателей операторов АСУ с ЭВМ.

Если множества различных возмущений вызывают множества систем не дифференцируемых синхронных и асинхронных связей

головного мозга, то это еще не означает, что в них заключаются причинно-следственные разрешения.

Описанный нами подход кибернетического анализа систем возмущений и множества систем синхронных связей головного мозга операторов АСУ при различных функциональных состояниях эффективен, так как оптимально использует позиционную символику, приводит к однозначности и предельной точности отображения ЭЭГ колебаний трансформируемых во времени и пространстве.

Таким образом, кибернетический анализ множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга операторов АСУ позволяет вскрыть некоторые стороны механизмов, обеспечивающих исключительные резервы церебральных структур и систем, выявить дополнительные его возможности и высокостабильную надежность.

*Поступила 13 октября 1978 г.*

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Шабанов-Кушнаренко Ю. П.</i> Аналитический метод явного задания конечных алфавитных операторов . . . . .	3
<i>Шабанов-Кушнаренко Ю. П.</i> О переключабельных цепях теории интеллекта . . . . .	11
<i>Бондаренко М. Ф., Бондарев В. М.</i> Математическая модель словоизменения имен существительных. <i>Сообщение 1</i> . . . . .	18
<i>Соловьева Е. А., Банарь О. Т.</i> Использование алгебры конечных предикатов для автоматической обработки глагольных форм . . . . .	22
<i>Соловьева Е. А., Жуков О. А.</i> Математическая модель грамматической обработки глаголов типа 13 . . . . .	28
<i>Благина В. А., Дима З. В., Шабанова-Кушнаренко З. Ю.</i> О математическом моделировании процесса склонения кратких и притяжательных имен прилагательных . . . . .	34
<i>Ловицкий В. А.</i> Структурный подход к решению морфологических задач . . . . .	39
<i>Емельянов А. М.</i> Использование фреймов для анализа структуры поступков. <i>Сообщение 1</i> . . . . .	43
<i>Емельянов А. М.</i> Использование фреймов для анализа структуры поступков. <i>Сообщение 2</i> . . . . .	51
<i>Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Короп А. В.</i> Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека. <i>Сообщение 3</i> . . . . .	58
<i>Василенко Ю. А., Коссей И. П.</i> Алгоритм построения всех тупиковых тестов обучающей выборки . . . . .	66
<i>Путятин Е. П., Абрамов О. М., Хомицкий С. О.</i> Метод построения операторов нормализации конечного ранга для центрирования изображений . . . . .	68
<i>Лоцилов В. И., Герцик Г. Я., Мироненко Ю. П.</i> Установка для создания переменных инфранизкочастотных электромагнитных полей, применяемых при магнитотерапии . . . . .	74
<i>Домнин Ф. А., Поворознюк А. И.</i> Об одном способе интерполяции квазипериодических функций . . . . .	77
<i>Домнин Ф. А., Костина И. К., Полтавцев В. П., Лисовский В. И.</i> Организация совместного анализа электро- и фонокардиосигналов на ЭВМ . . . . .	80
<i>Илюцин О. К., Новиков Б. В.</i> О транзитивных модификациях групповых отношений . . . . .	86
<i>Илюцин О. К., Новиков Б. В.</i> О нахождении медианы для экспертных упорядочений . . . . .	90
<i>Короп В. Ф., Дидиченко Н. П.</i> Частичное экранирование входной информации и его математическая трактовка . . . . .	93
<i>Ананин В. Ф.</i> Модель процесса мышления . . . . .	98
<i>Колотенко Г. А.</i> Вопросы моделирования и техническая реализация синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга . . . . .	107
<i>Колотенко Г. А.</i> Факторный анализ систем синхронных и асинхронных связей головного мозга . . . . .	115

УДК 510.62

**Аналитический метод явного задания конечных алфавитных операторов.** Ш а б а н о в-К у ш н а р е н к о Ю. П.— Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 3—11.

Рассматривается способ аналитического задания конечных алфавитных операторов. Полученные аналитические выражения предлагается использовать в качестве описания переключательных цепей, воспроизводящих реакции соответствующих алфавитных операторов. Исследуются условия применимости способа. Материал статьи поясняется примерами.

Ил. 8. Список лит.: 2 назв.

УДК 510.62

**О переключательных цепях теории интеллекта.** Ш а б а н о в-К у ш н а р е н к о Ю. П.— Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд.-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 11—18.

Отмечается преимущество переключательных цепей, построенных по формулам теории интеллекта, перед традиционными комбинационными схемами и схемами многозначной логики. Рассматриваются варианты цепей, удовлетворяющие различным требованиям: максимальное быстродействие, минимальная стоимость, повышенная надежность.

Ил. 4. Список лит.: 3 назв.

УДК 519.766.2

**Математическая модель словоизменения имен существительных.** *Сообщение 1.* Б о н д а р е н к о М. Ф., Б о н д а р е в В. М.— Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 18—22.

Ставится задача описания морфологии русских существительных в виде тернарного отношения, связывающего лексемы, словоформы и грамматические категории. Указывается, что тернарное отношение может быть сведено к трем бинарным. В качестве инструмента формального описания предполагается применить алгебру конечных предикатов. Для обеспечения возможности алгебраического описания эксплицируются некоторые лингвистические понятия.

Список лит.: 2 назв.

УДК 801.55.001.57

**Использование алгебры конечных предикатов для автоматической обработки глагольных форм.** С о л о в ь е в а Е. А., Б а н а р ь О. Т.— Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 22—28.

Разработана математическая модель процессов обработки предикативных глагольных форм. Модель представлена в виде системы уравнений на языке конечных предикатов.

Список лит.: 5 назв.

УДК 510.62

**Математическая модель грамматической обработки глаголов типа 13.** С о л о в ь е в а Е. А., Ж у к о в О. А.— Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 28—33.

Разработана математическая модель грамматической обработки словоформ, позволяющая описать основные закономерности глагольных форм. Модель представлена в виде уравнений алгебры конечных предикатов и предназначена для автоматического решения задач анализа, синтеза, нормализации, выделения глаголов типа 13 из всего множества словоформ и др.

Табл. 2. Список лит.: 8 назв.

УДК 510.62

О математическом моделировании процесса склонения кратких и притяжательных имен прилагательных **Благина В. А., Дима З. В., Шабанова-Кушнаренко З. Ю.**—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 34—39.

Предлагается математическая модель процесса склонения притяжательных имен прилагательных, кратких форм и простой сравнительной степени качественных имен прилагательных. Моделирование осуществляется средствами теории интеллекта. Перечисляются задачи, решаемые с помощью модели.

Список лит.: 5 назв.

УДК 62.506.2

**Структурный подход к решению морфологических задач. Ловицкий В. А.**—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 39—43.

Предлагается решать задачи морфологического анализа не алгоритмическим путем, а структурным. Описывается специальная структура для решения морфологических задач и рассматривается алгоритм ее построения. Приводятся конкретные примеры, характеризующие особенности предлагаемого подхода.

Ил. 1. Список лит.: 7 назв.

УДК 62.506.1

**Использование фреймов для анализа структуры поступков. Сообщение 1. Емельянов А. М.**—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 43—50.

Предлагается использовать язык фреймов для описания и анализа структуры человеческих поступков. Исследуются структуры личности и ее внешнего окружения. Фрейм поступка задается как определенным образом организованное взаимодействие выделенных подструктур. Описывается процедура обобщения фреймов конкретных поступков и построения фреймов-классификаторов. Предложенный подход иллюстрируется примерами.

Ил. 4. Список лит.: 9 назв.

УДК 62.506.2

**Использование фреймов для анализа структуры поступков. Сообщение 2. Емельянов А. М.**—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 51—58.

Предлагается математический аппарат описания и анализа структуры поступков человека посредством построения их фреймов. Дается определение фрейма поступка, операции обобщения фреймов и получения фреймов-классификаторов, операций над фреймами-классификаторами.

Ил. 3.

УДК 62.506.2 : 612.821.3: 331.015.11:007

**Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека. Сообщение 3. Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Короп А. В.**—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 58—66.

Эта статья является продолжением статьи с таким же названием (Сообщение 1, 2) в предыдущих сборниках. Рассматривается применение особого суггестивного состояния психики человека для интенсификации продуктивного мышления, для повышения эффективности диалоговых систем «человек-машина», а также для использования мышления в качестве бионической модели.

Список лит.: 7 назв.

УДК 518.74

**Алгоритм построения всех тупиковых тестов обучающей выборки.** Василенок Ю. А., Коссей И. П.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 66—68.

Предлагается новый алгоритм нахождения тестов для произвольной обучающей выборки. Основным отличием алгоритма является меньший перебор по обучающей выборке по сравнению с известными алгоритмами. Это достигается благодаря поиску тестов начиная с наиболее длинных и исключением из рассмотрения поднаборов нетестовых наборов.

Табл. 1. Список лит.: 4 назв.

УДК 621.397:62—52

**Метод построения операторов нормализации конечного ранга для центрирования изображений.** Путьгин Е. П., Абрамов О. М., Хомицкий С. О.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 68—74.

Изложен метод построения операторов нормализации конечного ранга центрирования изображений. Метод предусматривает отыскание для операторов нормализации различных видов нелинейных функционалов центрирования, значения которых пропорциональны координатам объектов, спроектированных на плоскость.

Список лит.: 4 назв.

УДК 537.868+612.014.426+615.47

**Установка для создания переменных инфранизкочастотных электромагнитных полей, применяемых при магнитотерапии.** Лошилов В. И., Герцник Г. Я., Мироненко Ю. П.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 74—77.

Описана установка для получения переменных электромагнитных полей с частотами от долей герца до 20 Гц и напряженностью поля 100 эрстед.

Ил. 1. Список лит.: 7 назв.

УДК 621.391

**Об одном способе интерполяции квазипериодических функций.** Домнин Ф. А., Поворознюк А. И.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 77—80.

Рассматривается способ определения математической зависимости типа степенного полинома между двумя сильно коррелированными квазипериодическими биологическими сигналами артериального давления и реограммы. Получена структура и коэффициенты аппроксимирующего полинома.

Ил. 1. Список лит.: 2 назв.

УДК 65.011.56

**Организация совместного анализа электро-и фонокардиосигналов на ЭВМ.** Домнин Ф. А., Костина И. К., Полтавцев В. П., Лисовский В. И.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 80—85.

Рассматривается возможная организация определения «медицинских» параметров электро-и фонокардиосигналов при их совместной обработке на ЭВМ. Описан алгоритм идентификации структурных элементов и изменения основных параметров ЭКС и ФКС. Рассмотрены вопросы организации совместного ввода и предварительной обработки сигналов.

Ил. 2. Список лит.: 4 назв.

УДК 51:65.012.122

**О транзитивных модификациях групповых отношений.** Илюпин О. К., Новиков Б. В.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 86—90.

Пусть  $M$  — множество сравниваемых объектов,  $R_1, \dots, R_n$  — индивидуальные предпочтения, являющиеся линейными квазипорядками,  $0 \leq f(n) < n$ . Групповое отношение  $R$  строится по правилу:  $dRb \leftrightarrow n(a, b) \geq f(n)$ , где  $a, b \in M$ ,  $n(a, b)$  — число отношений  $R_i$ , для которых  $aR_i b$ . Для отношения  $R$  определяются модификации так же, как в книге Б. Г. Миркина «Проблема группового выбора» (М., Наука, 1974. В случае  $f(n) < \frac{n}{2}$  предложен алгоритм нахождения транзитивной модификации и дано необходимое и достаточное условие ее существования.

Список лит.: 3 назв.

УДК 519.812.5

**О нахождении медианы для экспертных упорядочений.** Илюпин О. К., Новиков Б. В.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 90—93.

Предлагается решение следующей задачи из теории группового выбора: найти для данного набора линейных упорядочений некоторого множества ближайший к ним (в смысле расстояния Хемминга) дихотомический линейный квазипорядок.

Список лит.: 2 назв.

УДК 62—50

**Частичное экранирование входной информации и его математическая трактовка.** К о р о п В. Ф., Д и д и ч е н к о Н. П.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 93—98.

Изучаются вопросы анализа входной информации животными: выделение в сигнальном комплексе стимульной, индифферентной и новой частей. Приводится математическая модель этого процесса, с помощью которой дается объяснение стимульной генерализации. Показана возможность применения экранирования при синтезе алгоритмов оптимизации.

Список лит.: 4 назв.

УДК 62.506.2

**Модель процесса мышления.** А н а н и н В. Ф.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 98—107.

Механизм процесса мышления рассматривается на основе предложенной модели интегративного центра мозга (ИЦМ), базирующейся на межнейронных связях между структурами мозга. ИЦМ включает интегративный блок, на который конвергирует афферентная информация из сенсорных центров и на выходе которого создается интегративная нервная импульсация: центр восприятия интегративной импульсации, трансформирующий ее идею, мысль, образ с его блоками оперативной и долговременной памяти и обратными связями и, наконец, нисходящие пути, по которым от центра восприятия идет команда на исполнительные элементы и связь с другими структурами мозга.

Ил. 2. Список лит.: 9 назв.

УДК 612.82.014.001.57

**Вопросы моделирования и техническая реализация синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга.** Колотенко Г. А.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 107—115.

Раскрываются некоторые теоретические аспекты нейробионики, исследуются принципы автоматического анализа множества взаимосвязанных переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур при помощи унифицированных логических элементов системы «Логика».

УДК 612.82.014.42.001.57

**Факторный анализ систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.** Колотенко Г. А.—Проблемы бионики, вып. 25.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 115—122.

Освещены принципы моделирования множества переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур при помощи элементов факторного анализа, интерпретируются уравнения регрессии применительно к биоэлектрическим явлениям головного мозга, устанавливаются отношения между множеством целенаправленных возмущений и откликами в форме переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, в результате чего идентифицируются определенные уровни системы человек — машина — среда, выявляются дополнительные аспекты нейробионики, которые могут быть использованы на практике при разработке роботов, а также новых поколений ЭВМ.