004.67
П78

ISSN 0555-2656

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

БИОНИКА

ВЫПУСК
31

1983

004.54
П 78

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ИМЕНИ М. К. ЯНГЕЛЯ

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

ВЫПУСК 31

Республиканский
междуведомственный
научно-технический
сборник

Основан в 1968 г.

БИБЛИОТЕКА
ХИРЗ
Инв. № 070164
2001

ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА»
1983

УДК 62.506.2

Проблемы бионики: Респ. междувед. науч.-техн. сб. Вып. 31.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1983.—136 с.

Сборник содержит результаты разработок формальных и аппаратных средств моделирования конечных информационных процессов. Показано их применение для автоматизированной обработки словесной сенсорной информации. Описаны принципы и методика получения моделей некоторых видов интеллектуальной деятельности человека. Рассмотрены некоторые задачи оценки эргатических систем.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1982 г.

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

Редакционная коллегия: *Ю. П. Шабанов-Кушнаренко* (отв. ред.), *М. Ф. Бондаренко* (зам. отв. ред.), *А. Ф. Осыка* (отв. секр.), *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. Чернов*

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

Редакция естественнонаучной литературы

П $\frac{1502000000-050}{M226(04)-83}$ 449—83

© Издательское объединение «Вища школа», 1983

УДК 510.62

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

О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТА*

Рассмотрим следующую задачу. Дана переменная x, изменение которой ограничено универсумом $\{a_1, a_2, \ldots, a_k\}$. Область M определения переменной x зависит от значений буквенных параметров $t_1, t_2, \ldots, t_n$. Эта зависимость задается уравнением алгебры конечных предикатов $f(x, t_1, t_2, \ldots, t_n) = 1$ **(1)**.

Требуется выразить в явном виде компоненты $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n$ векторного представления $(\xi_1, \xi_2, \ldots \xi_n)$ множества M как функции параметров $t_1, t_2, \ldots, t_n$. Искомые зависимости имеют следующий вид:

$$
\begin{aligned}
&f(a_1, t_1, t_2, \ldots, t_n) = \xi_1^1;\\
&\overline{f}(a_1, t_1, t_2, \ldots, t_n) = \xi_1^0;\\
&f(a_2, t_1, t_2, \ldots, t_n) = \xi_2^1;\\
&\overline{f}(a_2, t_1, t_2, \ldots, t_n) = \xi_2^0;\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&f(a_\kappa, t_1, t_2, \ldots, t_n) = \xi_\kappa^1;\\
&\overline{f}(a_\kappa, t_1, t_2, \ldots, t_n) = \xi_\kappa^0.
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Пусть, например, в роли (1) задано уравнение $x^0t_1^0t_2^1 \vee x^0t_1^1t_2^1 \vee x^1t_1^0t_2^1 \vee x^1t_1^1t_2^0 = 1$ **(а)**, а изменение переменных x, t_1, t_2 ограничено областью $\{0, 1\}$. Для этого уравнения зависимости вида (2) находим следующим образом (на примере ξ_1): $0^0t_1^0t_2^1 \vee 0^0t_1^1t_2^1 \vee 0^1t_1^0t_2^1 \vee 0^1t_1^1t_2^0 = t_1^0t_2^1 \vee t_1^1t_2^1 = \xi_1^1$, $\overline{t}_2^1 = t_2^0 = \xi_1^0$.

Окончательно имеем $t_2^1 = \xi_1^1$, $t_2^0 = \xi_1^0$, $t_1^0t_2^1 \vee t_1^1t_2^0 = \xi_2^1$; $t_1^0t_2^0 \vee t_1^1t_2^1 = \xi_2^0$ **(б)**.

Найдем векторное представление задаваемого уравнением (а) множества M при $t_1 = t_2 = 1$. Согласно (б) имеем $\xi_1^1 = 1^1 = 1$, $\xi_1^0 = 1^0 = 0$, $\xi_2^1 = 1^0 \cdot 1^1 \vee 1^1 \cdot 1^0 = 0$, $\xi_2^0 = 1^0 \cdot 1^0 \vee 1^1 \cdot 1^1 = 1$.

Таким образом, в рассматриваемом случае $M = (1, 0)$, следовательно, множество M состоит из единственного элемента 0. В случае, когда $t_1 = 0$, $t_2 = 1$, имеем $M = (1, 1)$, множество M состоит из элементов 0 и 1. Когда же $t_1 = t_2 = 0$, то $M = (0, 0)$ и множество M пусто.

---

* Статья является продолжением работ [1,2].

Поставим вопрос: при каких значениях параметров $t_1, t_2, \ldots, t_n$ уравнение (1) имеет единственное решение относительно переменной x? Ясно, что при единственном решении множество M всех корней уравнения (1) для переменной x должно состоять в точности из одной буквы. В этом случае вектор множества M содержит только единичный компонент, а все остальные его компоненты — нулевые. В формализованном виде это утверждение запишется следующим образом: $\xi_1^1\xi_2^0 \ldots \xi_\kappa^0 \vee \xi_1^0\xi_2^1 \ldots \xi_\kappa^0 \vee \ldots \vee \xi_1^0\xi_2^0 \ldots \xi_\kappa^1 = 1$ (3).

Подставляя в полученное уравнение значения входящих в его состав узнаваний, определяемые равенствами (2), получаем некоторое уравнение $\Phi(t_1, t_2, \ldots, t_n) = 1$ (4), связывающее параметры $t_1, t_2, \ldots, t_n$. Решая его, мы можем найти область изменения параметров $t_1, t_2, \ldots, t_n$, в которой уравнение (1) имеет единственное решение относительно переменной x.

Особый интерес для приложений представляет случай, когда переменная x двоичная. При этом условии система равенств (2) запишется в виде

$$\begin{aligned} f(0, t_1, t_2, \ldots, t_n) &= \xi_1^1; \\ \bar{f}(0, t_1, t_2, \ldots, t_n) &= \xi_1^0; \\ f(1, t_1, t_2, \ldots, t_n) &= \xi_2^1; \\ \bar{f}(1, t_1, t_2, \ldots, t_n) &= \xi_2^0, \end{aligned} \qquad (5)$$

а условия (3), (4) соответственно приобретут следующую форму: $\xi_1^1\xi_2^0 \vee \xi_1^0\xi_2^1 = 1$ (6), $f(0, t_1, t_2, \ldots, t_n) \oplus f(1, t_1, t_2, \ldots, t_n) = 1$ (7). В качестве примера рассмотрим булево уравнение $x \vee t_1 = t_2$ (в), где x, t_1, t_2 — булевы переменные, и определим область значений параметров t_1, t_2, для которых существует единственное решение относительно переменной x. Уравнение (1) для отношения (в) запишется так: $x^0t_1^0t_2^0 \vee x^0t_1^1t_2^1 \vee x^1t_1^0t_2^1 \vee x^1t_1^1t_2^1 = 1$ (г).

Искомая область определится уравнением (7), которое в данном случае принимает вид $(0^0t_1^0t_2^0 \vee 0^0t_1^1t_2^1 \vee 0^1t_1^0t_2^1 \vee 0^1t_1^1t_2^1) \oplus \oplus (1^0t_1^0t_2^0 \vee 1^0t_1^1t_2^1 \vee 1^1t_1^0t_2^1 \vee 1^1t_1^1t_2^1) = 1$. После упрощений получаем $t_1^0t_2^0 \vee t_1^0t_2^1 = 1$ (д).

Таким образом, область изменения набора параметров (t_1, t_2) имеет вид $\{(0, 0), (0, 1)\}$. Непосредственной проверкой убеждаемся, что уравнения $x \vee 0 = 0$ и $x \vee 0 = 1$ действительно имеют единственное решение (соответственно 0 и 1). Остальным наборам значений параметров (1, 0) и (1, 1) соответствуют уравнения $x \vee 1 = 0$ и $x \vee 1 = 1$. Первое из них вовсе не имеет решений, а второе имеет два корня: 0 и 1.

Рассмотрим теперь следующую задачу. Пусть задано уравнение $f(x, t_1, t_2, \ldots, t_n) = 1$ (1). Введем область N изменения наборов параметров $t_1, t_2, \ldots, t_n$ этого уравнения, определяемую отношением $\Phi(t_1, t_2, \ldots, t_n) = 1$ (4).

Как следует из сказанного выше, уравнение (1) задает на области N некоторую функцию $x = F(t_1, t_2, \ldots, t_n)$. Требуется записать эту функцию в явном виде.

При решении этой задачи мы сталкиваемся с необходимостью доопределить функцию F за пределами области N, причем это доопределение может быть произведено многими разными способами. Одно из возможных доопределений состоит в том, чтобы объявить, что за пределами области N значения функции F не существуют. В этом случае явное задание функции F имеет вид

$$\begin{aligned} &f(a_1, t_1, t_2, \ldots, t_n)\,\Phi(t_1, t_2, \ldots, t_n) = x^{a_1};\\ &f(a_2, t_1, t_2, \ldots, t_n)\,\Phi(t_1, t_2, \ldots, t_n) = x^{a_2};\\ &\ldots\ldots\ldots

Таблица 1

a	b	c	x^0	x^1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
1	0	0	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	1	0	1

Таблица 2

a	b	c	x^0	x^1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	1	0	1

Процесс доопределения состоит в том, чтобы пополнить формулы, стоящие в левой части равенств (з), дизъюнктивными членами, в качестве которых должны быть взяты перечисленные элементарные произведения. При этом каждое элементарное произведение должно быть использовано по одному разу.
Элементарные произведения распределяются между формулами с таким расчетом, чтобы после упрощений получить возможно более экономные выражения.

Записываем явные выражения для функции F: $a^0b^0c^0 \vee \vee a^1b^0c^1 \vee a^1b^0c^0 = x^0$, $a^0b^0c^1 \vee a^1b^1c^1 \vee a^0b^1c^0 \vee a^0b^1c^1 \vee a^1b^1c^0 = = x^1$. После упрощений окончательно получаем $b^0c^0 \vee a^1b^0 = x^0$; $a^0c^1 \vee b^1 = x^1$ (к). Как видим, применение второго способа дало существенное упрощение явного описания функции F (получили 7 узнаваний вместо 12).

В табл. 2 указаны значения x^0 и x^1, вычисленные по формулам (к). Как видно из таблицы, значения функции F в пределах области N остались прежними. На всех наборах за пределами области N функция F теперь однозначно определена: на наборе (1, 0, 0) она принимает нулевое значение, на наборах (0, 1, 0), (0, 1, 1), (1, 1, 0) — единичное.

Еще более экономная форма явного задания функции F в ряде случаев может быть получена третьим способом, при котором ее доопределение за пределами области N осуществляется произвольным образом. При этом для одних наборов значений параметров $t_1, t_2, \ldots, t_n$ значение функции F принимается несуществующим, для других — однозначным, а для третьих — многозначным. Доопределение производится так же, как и по второму способу, с тем, однако, отличием, что элементарные произведения разрешается теперь использовать многократно или вовсе не использовать.

Для нашего примера принимаем следующий способ пополнения формул (з) элементарными произведениями: $a^0b^0c^0 \vee a^1b^0c^1 \vee$

$\vee a^0b^1c^0 \vee a^1b^1c^0 \vee a^1b^0c^0 = x^0$; $a^0b^0c^1 \vee a^1b^1c^1 \vee a^0b^1c^0 \vee a^0b^1c^1 \vee$ $\vee a^1b^1c^0 = x^1$. После упрощений имеем $c^0 \vee a^1b^0 = x^0$; $a^0c^1 \vee$ $\vee b^1 = x^1$ (л).

Мы видим, что применение третьего способа позволило сократить число узнаваний в явном описании функции F с 7 до 6. Вычисления по формулам (л) приводят к табл. 3. Из таблицы следует, что за пределами области N функция F имеет единичное значение на наборе (0, 1, 1) и оба возможных значения — на остальных наборах.

Таблица 3

a	b	c	x^0	x^1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1

Заметим, что функцию F не обязательно определять на всей области N. При желании ее можно определить на любом подмножестве P области N. Методы явного задания функции F на области P почти не отличаются от только что рассмотренных методов.

Рассмотрим пример. Функция $x = F(a, b, c)$ задана неявно уравнением (ж). Записать эту функцию в экономном явном виде для области P, определяемой уравнением $(a^0 \vee c^1)\, b^0 = 1$ **(м)**.

Вначале проверяем выполнение условия $P \subseteq N$. Если это условие не выполняется, то задача поставлена некорректно. Это условие выполняется в том и только в том случае, когда импликация, составленная из левых частей уравнений (м) и (и), тождественно истинна. В нашем примере условие $P \subseteq N$ выполняется:

$$(a^0 \vee c^1)\, b^0 \supset (a^1 \vee b^0)\,(a^0 \vee c^1) = (a^0 \vee c^1)\, b^0 \vee (a^1 \vee b^0)\,(a^0 \vee c^1) =$$
$$= a^1c^0 \vee b^1 \vee a^1c^1 \vee a^0b^0 \vee b^0c^1 =$$
$$= a^1 \vee b^1 \vee a^0b^0 \vee b^0c^1, = a^1 \vee b^0 \vee b^1 \vee c^1 = a^1 \vee 1 \vee c^1 = 1.$$

Отличие рассматриваемого метода от метода получения явного задания функции F для области N состоит лишь в том, что теперь мы не можем воспользоваться равенствами (9), а вынуждены обратиться к равенству (8). В этих равенствах под предикатом Ф теперь следует понимать левую часть равенства (м), задающего область P. Применяя равенства (8), получаем первый вариант явного задания функции F:

$$(a^10^1 \sim b^1)\,(a^1 \vee 0^1 \sim c^1)\,(a^0 \vee c^1)\, b^0 = x^0;$$
$$(a^11^1 \sim b^1)\,(a^1 \vee 1^1 \sim c^1)\,(a^0 \vee c^1)\, b^0 = x^1. \qquad \text{(н)}$$

После упрощений окончательно получаем:

$$a^0b^0c^0 \vee a^1b^0c^1 = x^0; \quad a^0b^0c^1 = x^1. \qquad \text{(о)}$$

Второй вариант описания получаем, пополняя левые части равенств (о) дизъюнктивными членами $a^0b^1c^0$, $a^0b^1c^1$, $a^1b^0c^0$, $a^1b^1c^0$, $a^1b^1c^1$, каждый из которых используется только по одному разу:

$$a^0b^0c^0 \vee a^1b^0c^1 \vee a^0b^1c^0 \vee a^1b^0c^0 \vee a^1b^1c^0 \vee a^1b^1c^1 = x^0;$$

$$a^0b^0c^1 \vee a^0b^1c^1 = x^1.$$

Окончательно имеем: $a^1 \vee c^0 = x^0$; $a^0c^1 = x^1$ **(п)**. Третий вариант описания в данном примере совпадает со вторым.

Список литературы: *1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О моделировании конечных математических структур.— АСУ и приборы автоматики, 1981, вып 60, с. 86—90. 2. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О моделировании алфавитных операторов средствами теории интеллекта.— Проблемы бионики, 1981, вып. 26, с. 3—10.

Поступила в редколлегию 26.12.81.

УДК 610.52

М. Ф. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, *Н. М. БУРКОВА*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕПРОИЗВОДНЫХ ГЛАГОЛОВ РУССКОГО ЯЗЫКА

Глагол, как и имя существительное, является одной из важнейших частей речи в современном русском языке. Основное значение глагола как части речи — название действия или состояния в его отношении к субъекту.

Глагол в современном русском языке образуется преимущественно в результате суффиксального, префиксального и суффиксально-префиксального словообразования на базе имен существительных и прилагательных. Существует большой класс глаголов, мотивированных глаголами и местоимениями.

Наиболее продуктивным способом словообразования глаголов является способ префиксации. Значения глагольных суффиксов не так богаты и разнообразны, как в именах существительных и прилагательных, но без них описание системы словообразования глаголов было бы неполным и односторонним. Изучение словообразовательной системы дает возможность не только понять законы ее функционирования, установить нормы современного словообразования, но и дать математическую интерпретацию тем или иным процессам в естественном языке. Формализация процессов словообразования является одной из самых актуальных проблем при решении целого ряда практических задач, связанных с переработкой информации на естественном языке с помощью современных ЭВМ.

В словообразовательной системе глаголов следует различать словообразовательные и формообразующие суффиксы. Словообразовательные суффиксы используются для образования слов с новым лексическим значением, например, *батрак — батрачить*,

синий — синить и т. д. Формообразующие суффиксы новых слов не образуют, они не меняют лексического значения слова, а используются для образования форм того же самого слова, например, *говорить — говорящий.* Мы будем рассматривать словообразовательные суффиксы глаголов. Словообразовательный суффикс — это служебная морфема, находящаяся после корня или после суффикса производящей основы и служащая для образования новых слов.

Глагол при построении математических моделей словообразования будем рассматривать в его неопределенной форме, т. е. инфинитив.

Суффиксальные глаголы могут быть производными (мотивированными), т. е. образованными от какой-то части речи, например, *сапожник — сапожничать, борона — боронить,* и непроизводными (немотивированными), которые ни от чего не образуются (*быть, печь, нести, брести, везти, класть*).

Рассмотрим построение математической модели немотивированных глаголов русского языка.

При построении модели используется в качестве математического аппарата алгебра конечных предикатов [1], с успехом примененная при описании процессов словоизменения [2], а также словообразования [3]. В работе [4] было введено понятие смысла текста и указано, что смысл — это набор промежуточных переменных, связывающих воедино отдельные части (фрагменты) текста. Здесь, как и в работе [3], в качестве фрагмента текста выступает глагольный суффикс, а в роли его смысла — набор грамматических и семантических признаков. Эти признаки связывают между собой буквы суффикса, с их помощью осуществляется также связь суффикса с остальными частями слова (корень, постфикс).

По аналогии с описанием процесса словоизменения [4] и словообразования [3] введем следующие грамматические признаки и зафиксируем их значения: ξ_1 — тип грамматических преобразований со значением: *с* — словообразование, *н* — несловообразование; ξ_2 — способ словообразования со значениями: *с* — суффиксальный, *н* — несуффиксальный. В нашем случае принимаем $\xi_1 = c$, т. е. рассматриваем словообразование $\xi_2 = c$, рассматриваем суффиксальное словообразование; ξ_3 — часть речи мотивированного слова со значениями: *г* — глагол, *н* — не глагол; $\xi_3 = г$; ξ_4 — признак мотивированности со значениями: м — мотивированный, *н* — немотивированный. Мы ограничимся рассмотрением немотивированных глаголов, т. е. $\xi_4 = н$.

Таким образом, зафиксировав значения этих признаков, мы из всего множества суффиксальных морфов будем рассматривать только те, которые присущи немотивированным глаголам.

Все эти суффиксальные морфы сводим в таблицу, называемую нами *регистром суффиксов.* Регистр построен по принципу «гласная — согласная» (если проанализировать все суффик-

сальные морфы, то можно заметить, что первая буква — гла ная, поэтому на первом месте в регистре будет разряд д гласных букв).

Все буквы суффиксальных морфов разносим по разряда регистра так, чтобы разряд содержал, по возможности, один ковые буквы, пустые места заполняются знаком ⎵ (пробел).

Существуют такие глаголы, как *нести, везти*, у которы выделить суффикс как таковой нельзя. Так, у глагола *нес* корень *нес-*, окончание инфинитивное *-ти*, суффикса нет, поэт му вводим для глаголов такого типа «пустой» суффикс, которы будем записывать в виде⎵⎵⎵⎵⎵. Регистр будет иметь сл дующий вид (табл. 1).

Таблица 1

s_1	s_2	s_3	s_4
⎵	⎵	а	⎵
е	⎵	⎵	⎵
и	⎵	⎵	⎵
ы	⎵	⎵	⎵
⎵	и	у	⎵
⎵	⎵	⎵	⎵

Таблица 2

$x_2^{а}$	$x_3^{у}$	а, и, е, ы
	$x_3^{б}$	ну, ⎵
$x_2^{б}$	$x_3^{у}$	а, е
	$x_3^{б}$	

В отличие от мотивированных глаголов, которые в основно имеют инфинитивное окончание *-ть* (*боронить, базарить, задер живать* и т. д.), немотивированные глаголы имеют инфинити ное окончание *-ть, -ти, -чь* (*быть, нести, печь*). Поэтому дл математического описания немотивированных глаголов целес образно ввести такой признак x_1 — признак инфинитивно окончания со значениями *а* — окончание *-ть*, *б* — окончание *-т в* — окончание *-чь*.

Разделив таким образом немотивированные глаголы на тр класса, будем рассматривать каждый класс отдельно.

Глаголы с окончанием *-ти* имеют суффикс⎵⎵⎵⎵⎵, а гл голы с окончанием *-чь* — суффикс *-е-*.

Рассмотрим глаголы, имеющие инфинитивное окончание *-т* Для построения математической модели вводим следующ грамматические признаки: X_2 — признак типа спряжения со зн чениями: *а* — первое спряжение, *б* — второе спряжение; X_3 признак ударности суффикса со значениями: *у* — ударный, *б* безударный;

Выделенные признаки характеризуют влияние текста. Ес построить парадигматическую таблицу (табл. 2), можно зам тить, что в одной клетке находится несколько суффиксальны морфов. Это говорит о том, что набор признаков не полс Чтобы достичь однозначности выбора суффиксального морф необходимо ввести признаки, характеризующие влияние основ X_4 — признак мягкости основы со значениями *т* — твердая, *м* —

мягкая; X_5 — признак последней буквы основы со значениями: *а, б, в, ..., я.*

Область изменения введенных признаков формально зададим следующими уравнениями алгебры конечных предикатов:

$$x_1^{а} \vee x_1^{б} \vee x_1^{в} = 1 \quad (1), \quad x_2^{а} \vee x_2^{б} = 1 \quad (2), \quad x_3^{у} \vee x_3^{б} = 1 \quad (3),$$

$$x_4^{т} \vee x_4^{м} = 1 \quad (4), \quad x_5^{а} \vee x_5^{б} \vee x_5^{в} \vee x_5^{г} \vee x_5^{д} \vee x_5^{е} \vee x_5^{ж} \vee x_5^{э} \vee x_5^{и} \vee$$

$$\vee x_5^{к} \vee x_5^{л} \vee x_5^{м} \vee x_5^{н} \vee x_5^{о} \vee x_5^{п} \vee x_5^{р} \vee x_5^{с} \vee x_5^{т} \vee x_5^{у} \vee x_5^{ф} \vee x_5^{х} \vee$$

$$\vee x_5^{ц} \vee x_5^{ч} \vee x_5^{ш} \vee x_5^{щ} \vee x_5^{ю} \vee x_5^{я} = 1 \quad (5).$$

Введенных признаков достаточно для однозначного задания букв суффиксального морфа. Нетрудно убедиться в том, что введенный набор признаков не только полон, но и не сократим. Так, исключая признак ударности, мы получаем неоднозначность типа *дрыхнуть, бормотать* (*-ну, -а*).

Итак, задача математического описания немотивированных глаголов состоит в том, чтобы средствами алгебры конечных предикатов записать морфологическое отношение $L(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, S) = 1$ **(6)**, где S — буква суффикса. Это морфологическое отношение связывает букву суффикса S с набором грамматических признаков $x_1 \div x_2$. В силу полноты набора $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ морфологическое отношение задает некоторую функцию $S = F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$. Она формально будет описана, если ее удастся представить в явном виде $S^{\sigma} = F_{\sigma}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, где σ — значение буквы суффиксального морфа. Запишем уравнения для первой буквы. Область ее изменения

$$s_1^{е} \vee s_1^{\sqcup} \vee s_1^{и} \vee s_1^{ы} = 1 \quad (7), \quad s_1^{с} = x_1^{а} x_3^{у} \left(x_2^{а} x_4^{м} x_5^{р} \vee x_2^{б} x_4^{м}\right) \vee x_1^{в} \quad (8),$$

$$s_1^{\sqcup} = x_1^{а} x_2^{а} x_4^{м} \left(x_5^{б} \vee A\right) x_3^{у} \quad (9), \quad A = x_5^{г} \vee x_5^{д} \vee x_5^{ж} \vee x_5^{з} \vee x_5^{к} \vee x_5^{л} \vee$$

$$\vee x_5^{н} \vee x_5^{п} \vee x_5^{т} \vee x_5^{х} \vee x_5^{ш} \vee x_5^{щ} \quad (10), \quad s_1^{ы} = x_1^{а} x_2^{б} x_3^{у} x_4^{т} \left(x_5^{б} \vee x_5^{в} \vee\right.$$

$$\left. \vee x_5^{р} \vee x_5^{н} \vee x_5^{м}\right) \quad (11), \quad s_1^{\sqcup} = x_1^{а} x_2^{а} x_4^{т} \left(\left(x_5^{с} \vee A\right) x_5^{у} \vee x_3^{б} A\right) \vee x_1^{б} \quad (12).$$

Для второй буквы:

$$s_2^{н} \vee s_2^{\sqcup} = 1 \quad (13), \quad s_2^{н} = x_1^{а} x_2^{а} x_3^{б} x_4^{т} A \quad (14),$$

$$s_2^{\sqcup} = x_1^{а} \left(x_2^{а} x_3^{у} \vee x_3^{б}\right) \vee x_1^{б} \vee x_1^{в} \quad (15).$$

Для третьей буквы суффикса:

$$s_3^{а} \vee s_3^{у} \vee s_3^{\sqcup} = 1 \quad (16), \quad s_3^{а} = x_1^{а} \left(x_3^{у} x_4^{т} x_2^{а} A \vee x_2^{б} x_4^{т}\right) \quad (17),$$

$$s_3^{у} = x_1^{а} x_2^{а} x_3^{б} x_4^{т} A \quad (18), \quad s_3^{\sqcup} = x_1^{а} \left(x_2^{г} x_4^{т} \vee x_2^{а} \left(x_4^{м} \vee x_4^{т} x_3^{у} \left(x_5^{б} \vee x_5^{в} \vee\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left. \vee x_5^{р} \vee x_5^{н} \vee x_5^{м}\right) \vee x_4^{т} x_3^{б} \left(x_5^{с} \vee x_5^{э}\right)\right)\right) \vee x_1^{б} \vee x_1^{в} \quad (19).$$

Четвертой буквой суффикса является буква $\sqcup$ (пробел).

Рассмотрим пример. Пусть нам задана основа *грыз-*, необходимо образовать глагол первого спряжения, с инфинитивным

окончанием *-ть*, с безударным суффиксом. Исходя из условия задачи, имеем $x_1^б$, $x_2^а$, $x_3^б$. Кроме того, проанализировав основу, приходим к выводу, что основа оканчивается на твердую з. Имеем x_4^1, $x_5^з$. Необходимо определить s_1, s_2, s_3, s_4. Решая систему уравнений (7) — (19), получаем, что словообразовательный суффикс равен $s_1 = \sqcup$, $s_2 = \sqcup$, $s_3 = \bar{\sqcup}$, $s_4 = \sqcup$. Таким образом, получаем глагол *грызть*.

Список литературы: 1. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об алгебре конечных предикатов.— АСУ и приборы автоматики, 1979, вып. 50, с. 14—20. 2. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Математическое описание процесса склонения имен прилагательных.— Проблемы бионики, 1979, вып. 27, с. 22—27. 3. *Бондаренко М. Ф., Буркова Н. М., Шаронова Н. В.* Математическое описание суффиксального словообразования глаголов.— Проблемы бионики, 1982, вып. 28, с. 8—13. 4. *Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О математическом описании естественного языка.— Проблемы бионики, 1981, вып. 27, с. 17—21.

Поступила в редколлегию 16.03.82.

УДК 510.62

Н. В. ШАРОНОВА, Э. М. БУЗНИЦКАЯ, канд. техн. наук

О СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ ПРИЗНАКОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОВООБРАЗОВАНИЯ

Одним из самых важных этапов при решении задач переработки естественноязыковой информации является введение и обоснование системы признаков, адекватно отображающей связи и отношения в языке. Признаки — это формализованное представление тех смысловых значений, которые передает та или иная часть текста. Если в морфологии (словоизменении) достаточно много сделано в области выявления и формирования признаков (род, число, падеж — эти категории общеизвестны и узаконены), то в словообразовании все известные работы носят фрагментарный, специальный характер, т. е. нет таких исследований, где была бы предложена общая система достаточно формализованных семантических и грамматических признаков, позволяющая решать задачи анализа и синтеза словоформ на уровне словообразования.

Этот факт — лишнее свидетельство сложности поставленной задачи. Однако, чтобы решать задачи еще более высокого уровня, связанные с семантикой словосочетаний и предложений, невозможно обойтись без решения задач внутри слова, связанных со словообразованием. Здесь предлагается система признаков, общая для образования всех отглагольных существительных русского языка, позволяющая описывать средствами алгебры конечных предикатов [1] более 150 суффиксальных словообразовательных типов, даются рекомендации по расширению возможностей этой системы при описании всей русской суффиксации.

Использование такого формального аппарата как алгебра конечных предикатов, предъявляет определенные требования к формированию и использованию признаков. С одной стороны, для корректного введения любой буквенной переменной x необходимо и достаточно, чтобы она удовлетворяла законам истинности

$x^{a_1} \vee x^{a_2} \vee \ldots \vee x^{a_k} = 1$ и ложности $x^{a_i} x^{a_j} = 0$ $(i \neq j,\ 1 \leqslant i,\ j \leqslant k)$,

где $\{a_1, a_2, \ldots, a_k\}$ — область определения переменного признака x, т. е. множество всех оттенков, отнесенных нами к данному признаку. При этом исчерпываются все логические возможности и соблюдается взаимоисключаемость разных оттенков, отнесенных к одному признаку.

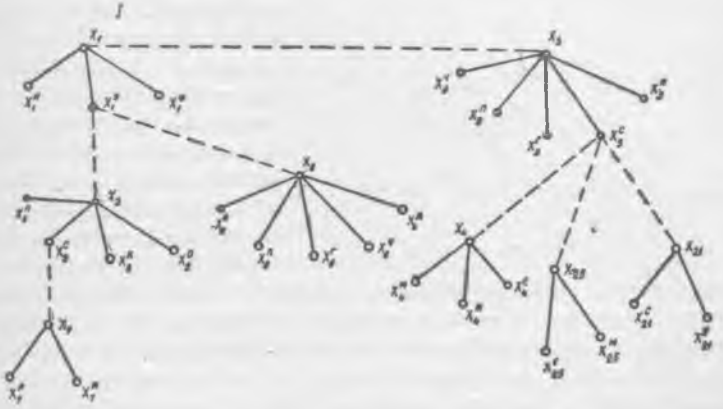


Рис. 1

С другой стороны, все признаки должны быть равноправны, поскольку они являются аргументами, т. е. независимыми переменными морфологической функции $У = F(X)$, где X — набор признаков; $У$ — соответствующий этому набору текст; $X = (x_1, x_2, \ldots, x_m)$ $(x_1, \ldots, x_m$ — признаки текста $У)$. Однако замечено, что как в морфологии, так и в словообразовании имеет место некоторая зависимость одних признаков от других. Например, признак «часть речи мотивирующей основы» имеет смысл лишь после того, как мы зафиксируем, что работаем в словообразовании (или «падеж» — в словоизменении) и т. д.

Связи между признаками могут быть самыми различными, иногда наблюдается зависимость не от самого признака, а от его конкретного значения, иногда признак обладает по отношению к другим некоторой свободой и может «перемещаться» по построенной семантической сети, но в определенных пределах. Обнаруженные порядок, подчиненность (иногда — строгая иерархия) признаков позволяют каким-то образом расчленить единое сложное морфологическое отношение с тем, чтобы по возможности

лучше и точнее описать систему более мелких отношений, затем собрать их в общее морфологическое отношение с применением теоремы о разложении.

Введенная нами система признаков состоит из тридцати семантических и традиционно грамматических признаков, позволяющих описать все отглагольные существительные. Рис. 1—3 отражают структуру введенных признаков. Видно, что эти признаки определенным образом группируются. В первую группу (рис. 1) входят традиционные, «классические» признаки: x_2 — вид морфемы (*корень, суффикс, префикс, окончание*); x_3 — часть речи (*существительное, прилагательное, глагол, числительное, наречие*); x_4 — род (*мужской, женский, средний*); x_{25} — число (*единственное, множественное*) x_{21} — современность (*современный, устаревший*); x_7 — происхождение (*русский, иностранный*), а также сугубо словообразовательный признак x_6 — часть речи мотивирующей основы (*существительное, прилагательное, глагол* и др.). Возглавляет эту группу признак x_1 — вид морфологических преобразований со значениями *словоизменение, словообразование* и *формообразование*. В этой группе связи между признаками не носят характера строгой иерархии, имеется некоторая свобода перестановки признаков. Подчиненность на рис. 1 указана пунктиром.

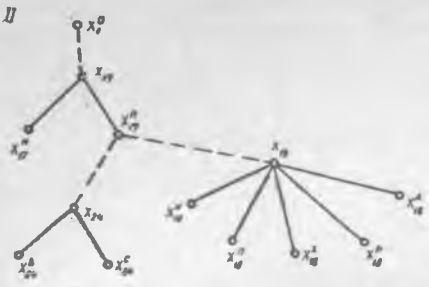


Рис. 2

В группу *II* (рис. 2) входят признаки, связанные со словообразовательной продуктивностью. Эта группа признаков свойственна лишь словообразованию, поэтому ее истоком является x_1^0 — вид морфологических преобразований со значением «словообразование». Словообразовательный тип может быть *продуктивным* $(x_{17}^{\text{п}})$ или *непродуктивным* $(x_{17}^{\text{н}})$, при этом если продуктивный — то с *высокой* $(x_{24}^{\text{в}})$ или *слабой* $(x_{24}^{\text{с}})$ *продуктивностью* и в каких текстах: $x_{18}^{\text{н}}$ — *научно-техническая терминология*, $x_{18}^{\text{п}}$ — *наименования профессий*, $x_{18}^{\text{х}}$ — *художественно-публицистическая речь*, $x_{18}^{\text{р}}$ — *разговорная речь*, $x_{18}^{\text{д}}$ — *просторечие*, $x_{18}^{\text{с}}$ — *специальные термины*.

Группа *III* — группа признаков имени существительного, *IV* — глагола. Объединяет эти группы то, что рассматриваются отглагольные существительные, т. е. образования с признаками как глагола, так и имени. В группе *III* (рис. 3, *а*) происходит конкретизация значения имени существительного по признакам: x_{28} — отношение к процессуальному признаку (*носитель процессуального признака* или *отвлеченный процессуальный признак*), далее, если

носитель — то *конкретный* $(x_8^к)$ или *абстрактный* $(x_8^а)$, если конкретный — то *предмет* $(x_{10}^п)$ или *вещество* $(x_{10}^в)$, *одушевленный* $(x_5^о)$ или *неодушевленный* $(x_5^н)$, один $(x_{23}^о)$ или *совокупность* $(x_{23}^с)$ и т. д. В группе *IV* (рис. 3, *б*) происходит конкретизация глагольных свойств: x_{14} — признак отношения к действию $(x_{14}^с$ — *субъект*, $x_{14}^д$ — *объект действия*, $x_{14}^д$ — *средство для производства действия*, $x_{14}^р$ — *результат действия*, $x_{14}^м$ — *помещение для его производства*); x_{16} — склонность к действию (*склонный — не склонный*).

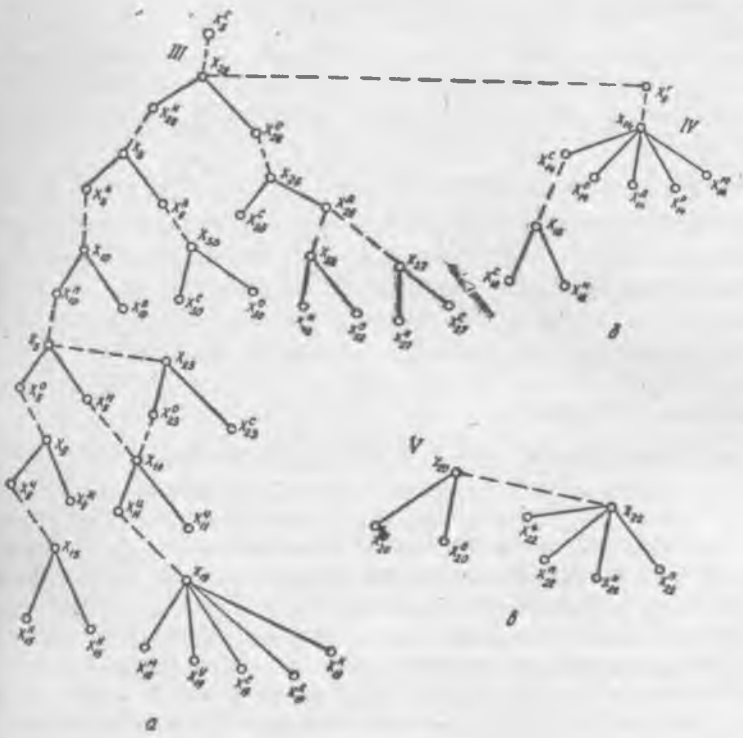


Рис. 3

Пятую группу составляют признаки экспрессивной окраски (рис. 3, *в*). Для отглагольной группы существительных эти признаки не играют существенной роли, они значительно более разработаны у модификационных существительных, мотивированных существительными.

Предлагаемая система признаков обладает определенной универсальностью. При рассмотрении словообразования существительных, мотивированных не глаголами, а какой-либо другой частью речи, изменения потребовалось бы внести лишь в IV и, возможно, в *V* группы признаков. Глагольная группа признаков

заменилась бы признаками мотивирующей части речи, при
тоже наблюдалось бы пересечение с группой признаков суще
вительного по отношению к предметному (мотивация имен
существительным), непроцессуальному (мотивация прилагате
ным) или количественному (мотивация числительным) приз
кам. Таким образом, введенная система признаков нуждае
лишь в дополнении при переходе к другой мотивации. При см
части речи групповая структура признаков сохраняется, но
ми признаки в группах *III, IV* должны соответствовать тем
стям речи, к которым относятся мотивируемое и мотивирующ
слова.

Продемонстрируем возможности системы признаков, опи
уравнениями отглагольные имена существительные мужского ро
В этих уравнениях присутствуют общие для групп суффик
множители:

$$T_1 = x_1^0 x_2^c x_3^c x_4^м x_6^г x_7^р x_8^к x_{17}^п;\quad T_2 = x_1^0 x_2^c x_3^c x_4^м x_6^г x_7^р x_8^к x_{17}^п;\quad T_3 = x_1^0 x_2^c x_3^c x_5^м x_6^г x_7^и x_8^$$

смысл которых сводится к следующему: рассматривается сл
образование (x_1^0) суффиксальное (x_2^c) имен существительных
мужского рода $(x_4^м)$, отглагольных $(x_6^г)$, конкретных $(x_8^к)$, русс
го $(x_7^р$ для T_1 и $T_2)$ и иностранного $(x_7^и$ для $T_3)$ происхожден
продуктивных $(x_{17}^п$ для T_1 и $T_3)$ и непродуктивных $(x_{17}^н$ для
типов.

Запишем уравнение:

$$T_1 \left(x_5^о x_{14}^с \left(x_{15}^п x_{18}^п \vee x_{15}^н x_{18}^х\right) \vee x_5^н \left(x_{14}^д x_{18}^н \vee x_{14}^с x_{18}^н\right)\right) \supset <\text{тель}>.$$

Оно означает, что морфема <тель> появляется в одуш
ленных именах существительных, обозначающих субъект дей
вия, при этом образование таких имен в значении «професси
продуктивно в профессиональной терминологии, а «времен
занятие» (не профессия — $x_{15}^н$) — в художественно-публицисти
ской речи; кроме того, морфема <тель> появляется в нео
шевленных именах существительных для обозначения орудия
выполнения действия с продуктиностью типа в научно-тех
ческой литературе и неодушевленного субъекта действия с п
дуктивностью там же. Распределение морфов в этой и дру
морфемах описано в [2] с использованием чисто формальн
признаков.

Уравнение

$$T_1 \left(x_5^о x_{14}^с \left(x_9^ж x_{18}^п \vee x_9^ж x_{18}^р\right) \vee x_5^п \left(\left(x_{14}^с \vee x_{14}^0\right) x_{18}^р \vee x_{14}^д x_{18}^р\right)\right) \supset <\text{ник}>$$

означает, что морфема <ник> появляется в одушевлен
именах существительных, обозначающих человека — субъек
действия с продуктивностью типа в профессиональной терми
логии или животное — субъекта действия с продуктивность
разговорной речи, а также в неодушевленных именах, обоз
чающих субъект или объект действия (продуктивны в разгов
ной речи) или орудие, средство для выполнения действия (п

дуктивны в научно-технической терминологии, в сфере названий орудий и механизмов). Примеры: *заточник, клеветник, ощупник* (жук), *окучник, зимовник, мученик.*

Для морфемы <щик> запишем следующее уравнение:

$$T_1\left(x_5^{\text{о}}x_{14}^{\text{с}}\left(x_{15}^{\text{п}}x_{18}^{\text{и}} \vee x_{15}^{\text{н}}x_{18}^{\text{р}} \vee x_5^{\text{н}}\left(x_{14}^{\text{с}} \vee x_{14}^{\text{д}}\right)x_{18}^{\text{н}}\right)\tau_1\right) \supset <\text{щик}>. \quad (3)$$

Уравнение (3) очень похоже на уравнение (1), так как морфема <щик> передает те же общие значения, что и морфема <тель>. Разница же заключается в условии τ_1 в уравнении (3), обозначающем возможность двойной мотивации в случае с морфемой <щик>. Известно, что большинство слов, образованных с помощью морфемы <щик>, мотивируется одновременно существительными с суффиксом *—к(а),* называющими действие и мотивированными теми же глаголами: *наладчик → наладить* и *наладка, забастовщик → забастовать* и *забастовка* и др. У морфемы <тель> такой двойственной мотивации нет:

$$T_1x_5^{\text{о}}x_{14}^{\text{с}}\left(x_{18}^{\text{п}} \vee x_{18}^{\text{р}}\right) \supset <\text{льщик}> \textbf{(4)}, \quad T_1x_5^{\text{и}}x_{14}^{\text{д}}\left(x_{18}^{\text{н}} \vee x_{18}^{\text{р}}\right) \supset <\text{льник}> \textbf{(5)}.$$

Уравнение (4) описывает появление в одушевленных именах существительных, обозначающих субъект действия и продуктивных в профессиональной терминологии и разговорной речи, морфемы <льщик>.

Уравнение (5) описывает появление морфемы <льник> в неодушевленных именах существительных, обозначающих орудие, средство для выполнения действия и продуктивных в научно-технической терминологии и разговорной речи.

Для морфемы <ец> используется общий множитель T_2 (тип непродуктивен):

$$T_2\left(x_5^{\text{о}}x_{14}^{\text{с}} \vee Q_1x_5^{\text{н}}x_{14}^{\text{с}} \vee Q_2x_{14}^{\text{р}}\right) \supset <\text{ец}>. \quad (6)$$

Это уравнение будет описывать появление непродуктивного типа морфемы <ец> в именах существительных одушевленных, называющих деятеля: *творец, пловец, писец,* а также соединяющегося с основами из списка Q_1 {*руб-, став-, постав-, рез-, свет-, пада-, стла-, шлепа-, оста-*} со значением «неодушевленный субъект действия» и с основами из списка Q_2 {*питом-, скоп-, руб-*} со значением «объект действия или его результат» (*рубец*):

$$T_1x_5^{\text{о}}x_{14}^{\text{с}}\left(x_{18}^{\text{р}} \vee x_{18}^{\text{х}}\right) \supset <\text{лец}>. \quad (7)$$

Существительные с суффиксом *-лец* называют лицо, производящее действие, названное мотивирующим словом: *страдалец, скиталец, владелец* и т. п. Тип проявляет продуктивность в разговорной и художественной речи:

$$T_2\left(x_5^{\text{н}}Q_3 \vee x_5^{\text{о}}Q_4\right) \supset <\text{ак}>, \quad (8)$$

где Q_3 {*держ-, леж-, лиз-, рез-, черп-, тес-, сто-, торч-, топл-*}, Q_4 {вод (ж)}; $T_1\left(x_5^{\text{о}}x_{14}^{\text{с}}\left(x_{18}^{\text{р}} \vee x_{18}^{\text{д}}\right) \vee x_5^{\text{н}}x_{14}^{\text{д}}x_{18}^{\text{р}}\right) \supset <\text{ач}>$ **(9)**.

Инв. № 670464

Существительные с суффиксом *-ач* называют предмет, служащий для выполнения действия (эти образования продуктивны в разговорной речи и просторечии), или лицо, производящее действие (продуктивность в разговорной речи):

$$T_1\left(x_5^{\text{о}}x_{14}^{\text{с}}\left(x_9^{\text{ч}}x_{18}^{\text{р}} \vee x_9^{\text{ж}}Q_5\right) \vee x_5^{\text{н}}x_{14}^{\text{с}}Q_6\right)x_{16}^{\text{с}} \supset <\text{ун}>. \qquad (10$$

Существительные с суффиксом *-ун* называют человека, производящего действие (продуктивность в разговорной речи): *бегун, прыгун, опекун, врун, вертун* и т. п., животное из списка Q_5 {*грыз-, пест-, полоск-, рев-, скак-, бод-, писк*}, орудия и части механизмов из списка Q_6 {*кол-, шат-, ползн-*}, все это с оттенком «склонный к действию»:

$$T_2\left(x_5^{\text{о}}x_9^{\text{ч}}x_{14}^{\text{с}} \vee x_5^{\text{н}}\left(x_{14}^{\text{д}} \vee x_{14}^{\text{с}} \vee x_{14}^{\text{м}}\right)\right) \supset <\text{ок I}>;$$

$$T_1\left(x_5^{\text{о}}\left(x_9^{\text{ч}} \vee x_9^{\text{ж}}\right) \vee x_5^{\text{н}}\right)x_{14}^{\text{р}}x_{18}^{\text{р}} \supset <\text{ок II}>. \qquad (11$$

Эти уравнения описывают два подтипа суффикса *-ок*, причем этот второй подтип продуктивен в разговорной речи и обозначает результат действия (человек, животное или неодушевленный предмет): *подарок, обрубок, перерост* и т. п.; первый подтип непродуктивен и описывает несколько слов со значением (а) лицо — производитель действия (*едок, седок, игрок*); б) орудие, средство для выполнения действия (*скребок, манок* и др.) в) неодушевленный предмет — субъект действия (*росток, поплавок, движок*); г) место действия (*каток*):

$$T_2x_5^{\text{о}}x_9^{\text{ч}}Q_7 \supset <\text{арь}>. \qquad (12$$

Существительные этого непродуктивного типа описывают лицо, производящее действие, причем основы берутся из списка Q_8 {*пек-, сек-, звон-, лек-, пах-, пис-, ток-*}: $T_2x_5^{\text{о}}x_9^{\text{ч}}Q_8 \supset <\text{аль}>$ (13) То же значение, что и в предыдущем типе, но основы берутся из списка Q_8 {*вр-, кат-, стриг-, ков-, мак-, строг-*}. Тип также непродуктивный.

Следующие четыре словообразовательных типа характеризуются продуктивностью в научно-технической терминологии (-атор(-ятор)-итор) и в специальной терминологии (-ор(-ер)ёр -ант(-янт)-ент, -ат(-ят)), причем суффиксы этих типов отличает то, что они присоединяются в подавляющем большинстве к основам иностранного происхождения (исключения редки: *ухажёр*) Для этих четырех продуктивных типов общим множителем является T_3:

$$T_3\left(x_5^{\text{о}}x_9^{\text{ч}}x_{14}^{\text{с}} \vee x_5^{\text{н}}x_{14}^{\text{д}}\right)x_{18}^{\text{н}}\tau_2 \supset <\text{атор}>. \qquad (14)$$

Это уравнение описывает появление морфемы <атор> в существительных, называющих лицо, производящее действие или предмет, предназначенный для его осуществления, при этом тип обнаруживает продуктивность в научно-технической терминологии. Условие τ_2 означает, что существительные этого типа

одновременно мотивируются отглагольными существительными с морфемой <ация>: *организатор → организовать* и *организация, инвеститор → инвестировать* и *инвестиция*.

Уравнение

$$T_3\left(x_5^{\text{о}}x_9^{\text{п}}x_{14}^{\text{с}} \vee x_5^{\text{н}}x_{14}^{\text{с}}\right) x_{18}^{\text{с}}P_1 \supset <\text{ор}> \qquad (15)$$

описывает появление морфемы <ор> в именах существительных, называющих лицо или орудие, производящее действие, названное мотивирующим словом. Тип продуктивен в специальной терминологии.

Уравнение

$$T_3\left(x_5^{\text{о}}x_9^{\text{п}}x_{14}^{\text{с}} \vee x_5^{\text{н}}x_{14}^{\text{с}}\right) x_{18}^{\text{с}}P_2 \supset <\text{ант}> \qquad (16)$$

полностью совпадает с предыдущим уравнением (15), так как морфемы <ор> и <ант> имеют одно и то же общее значение и продуктивны в тех же текстах. Единственное, что их различает,— это возможность присоединения к разным основам: если присоединяется, например, <ант>, то невозможно присоединить <ор>, и наоборот: *консультант, проектант,* но *дирижер, тренер.* Это различие зафиксировано введением в уравнения (15), (16) переменных P_1, P_2 соответственно, обозначающих классы основ, к которым присоединяются данные суффиксы. В простейшем варианте P_1 и P_2 — это списки основ, но в общем случае P_1 и P_2 можно выразить как определенную закономерность через признаки основы, включая семантические.

Уравнение

$$T_3\left(x_5^{\text{о}}x_9^{\text{п}}\left(x_{14}^{0} \vee x_{14}^{\text{р}}\right) \vee x_5^{\text{п}}\left(x_{10}^{\text{п}}\left(x_{19}^{\text{п}} \vee x_{19}^{\text{п}}\right) \vee x_{10}^{\text{п}}\right) x_{18}^{\text{п}} \supset <\text{ат}> \qquad (17)$$

описывает появление морфемы <ат> в существительных, называющих лицо или предмет (единичный или вещество, сочинение или документ), являющиеся результатом или объектом действия: *делегат, концентрат, фильтрат, экспонат, реферат, дубликат, аттестат* и т. п. Тип обнаруживает продуктивность в специальной терминологии, многие слова встречаются в художественно-публицистической речи.

Приведенные выше уравнения (1—17) используют около двадцати признаков системы и описывают семнадцать продуктивных и непродуктивных типов суффиксальных отглагольных существительных мужского рода. Остальные признаки используются при дальнейшем описании словообразовательной системы отглагольных имен существительных, включающей в себя конкретные и абстрактные существительные мужского, женского, среднего и общего рода и выраженной более чем ста пятьюдесятью словообразовательными типами.

Список литературы: 1. *Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О математическом описании естественного языка.— Проблемы бионики, 1981, вып. 27, с. 9—13. 2. *Шаронова Н. В.* Формализация распределения морфов в морфеме.— АСУ и приборы автоматики, 1981, вып. 60, с. 82—85.

Поступила в редколлегию 16.03.82.

УДК 510.62

С. И. МАЛЕНЧЕНКО

АЛГОРИТМ ПЕРЕЧИСЛЕНИЯ КЛИК ГРАФА

Кликой называют подмножество C вершин графа $G=(V, E$ такое что любые две вершины x, $y \in C \subseteq V$ смежны, т. е. имеет ребро x, $y \in E$ [1]. Учитывая, что в большинстве приложений ин тересны только нерасширяемые клики, определение часто попо няется условием нерасширяемости, а именно: не существует клик C', такой что $C \subset C'$ [2]. Нам тоже будет удобно придерживать определения с этим дополнением.

Задача перечисления всех клик не решается иначе, как пер бором. Она является универсальной переборной задачей в смы ле Кука-Карпа [3, 4], т. е. принадлежит к такому классу зада (классу NP), что если хоть одна задача из этого класса буд решена алгоритмом, требующим полиномиального (от разме входных данных) числа операций, то и любая другая задача этого класса тоже будет решена алгоритмом полиномиальн сложности. Поскольку в класс NP входят сотни задач, известн своей трудностью (таких, как задача коммивояжера или зада о ранце), то большинство исследователей сходятся в том, ч поиски алгоритмов полиномиальной сложности для задач это класса — дело совершенно безнадежное.

Даже если бы клика в графе находилась одной элементарн операцией, то и тогда нашлись бы графы, перечисление кл в которых имеет экспоненциальную сложность. Известным пр мером такого рода является граф Муна-Мозе́ра M_n. Граф M имеет 3^n вершин, разбитых на n троек; вершины каждой трой не связаны ребром, но каждая вершина любой тройки связа с остальными 3^n-3 вершинами. Ясно, что если взять по одно вершине из каждой тройки (а это можно сделать 3^n способ ми), то получится n-вершинная клика.

Однако бывают классы графов, обладающих специфическо структурой, и, эксплуатируя эту специфику, можно обойти тру ность, присущую общей задаче и вполне эффективно перечи лить все клики.

Такие задачи возникают в математической лингвистике п анализе классов эквивалентности языковых единиц (на разны уровнях — от морфологии до семантики). В таких задачах вхо ной материал должен был бы сам распадаться на классы экв валентности или на клики, если представлять анализируемы языковые единицы вершинами, а отношения — ребрами. Одн ко из-за нерегулярности естественных языков, неполноты ма риала и т. п. эти идеальные клики более или менее «подпо чены»: есть мнимые ребра или не хватает нужных. Мы рассмо рим случай, когда есть мнимые ребра, и задача состоит в то чтобы выдать все клики графа (односвязного, ибо в случ

многосвязного графа нужно решить эту задачу отдельно для каждой односвязной компоненты).

Алгоритм будет состоять из двух частей. На первом этапе будет существенно использоваться специфическая «почти кликовая» структура графа, что позволит очень просто выявить большинство клик. В этой части будет использоваться понятие «хорошей» вершины. Вторая часть алгоритма — лексикографический перебор подмножеств — будет применяться к графу, сильно уменьшенному после работы первой части алгоритма. Эта часть является, по существу, усовершенствованием алгоритма, анонсированного в [2] в качестве лучшего из известных. В нашей версии из этого алгоритма будет изгнана неудобная для программирования рекурсивность, а сложности формирования и хранения множеств N и D (перспективных и уже проанализированных вершин) совсем исчезнут, ибо эти множества превратятся во множества больших и меньших номеров по сравнению со старшим номером вершины рассматриваемого подмножества.

Для изложения первой части алгоритма введем некоторые обозначения и определения. Будем обозначать клику через C, а если надо дополнительно указать, что какие-то вершины принадлежат этой клике, то их номера (мы будем нумеровать вершины графа индексами $1, 2, \ldots, i, \ldots, n$) ставятся нижними индексами при C. Например клику, в которую (может быть, наряду с другими) входит вершина 1, можно обозначать C_1. Будем также обозначать множество вершин, смежных с i, через V_i. В силу рефлексивности отношения эквивалентности $i \in V_i$, т. е. мы будем рассматривать граф с петлями.

Вершина i называется *хорошей* тогда и только тогда, когда $V_i = C_i$. Иначе, т. е. если $V_i \supset C_i$, вершина называется *плохой*. Другими словами, вершина хорошая, если она принадлежит некоторой клике, и все ребра, инцидентные вершине, принадлежат этой клике, ребер «в сторону» нет. Поэтому, как только мы находим хорошую вершину, то мы находим целую клику; более того, затем хорошую вершину можно удалить из рассмотрения, не затронув при этом остальные клики. Поскольку мы рассматриваем графы такой структуры, что большинство вершин будет хорошими, то нужно отыскать простой способ нахождения хороших вершин. Опишем такой способ.

Будем задавать граф в виде матрицы смежности $A = \{a_{ij}\}_{i,j=1}^{n}$, где

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если нет ребра } (i, j), \\ 1, & \text{если есть ребро } (i, j). \end{cases}$$

Поскольку граф с петлями, то $a_{ii} = 1$.

По этой матрице строится другая матрица $T = \{t_{ij}\}_{i,j=1}^{n}$, по формуле $t_{ij} = a_{ij} |V_i \cap V_j|$ **(1)**. В частности, t_{ii} — это степень вершины (обычная степень плюс 1 за счет петли).

Матрица T удобна во многих отношениях. Во-первых, он делает ненужной матрицу A, ибо несет всю информацию, заклю ченную в A, поскольку $(t_{ij} > 0) \equiv (a_{ij} = 1)$, а $(t_{ij} = 0) \equiv (a_{ij} = 0$ Первая эквивалентность следует из того, что граф — с петлями поэтому если $a_{ij} = 1$, то $V_i \cap V_j \neq 0$, вторая эквивалентность три виальна. Во-вторых, матрица T вообще удобнее для исследовани клик, чем A. В частности, имеет место

Теорема. *Следующие утверждения эквивалентны: (а) вершин i — хорошая; (в) в i-й строке матрицы T имеется t_{ii} чисел, ра ных t_{ii}.*

Доказательство. 1) а → в. Поскольку вершина i имее степень t_{ii}, то в i-й строке матрицы T в силу (1) имеется ров t_{ii} ненулевых элементов. Пусть j, $j \neq i$ — любой из таких эл ментов. Индекс j — это номер вершины, входящий в клику C_i с вершинами. Значит, вершина j смежна с собой, с вершиной с остальными $t_{ii} - 2$ вершинами клики и, если вершина j — пл хая, с еще какими-то вершинами, т. е. $V_j \supseteq C_i = V_i$. Отсюда $V_j \cap V_i$ $= V_i$ и $t_{ij} = a_{ij} | V_j \cap V_i | = 1 \cdot |V_i| = t_{ii}$. Всего таких j имеется $t_{ii} - 1$, а одно недостающее число доставляет диагональный эл мент t_{ii}.

2) в → а. Поскольку $(t_{ij} > 0) \equiv (a_{ij} = 1)$, то вершина i смежн с собой и еще с $t_{ii} - 1$ вершинами. Пусть j — любая из эти вершин. Так как, в силу (1), $|V_i \cap V_j| = |V_i|$, то $V_j \supseteq V_i$, значи вершина j входит в клику C_i. Вершина i тоже входит в эту кл ку, и ее степень такова, что ребер, не ведущих в эту клику, не Значит, i — хорошая вершина.

Теорема доказана.

Теорема дает алгоритм нахождения хороших вершин, ибо утверждение (в) легко проверяется.

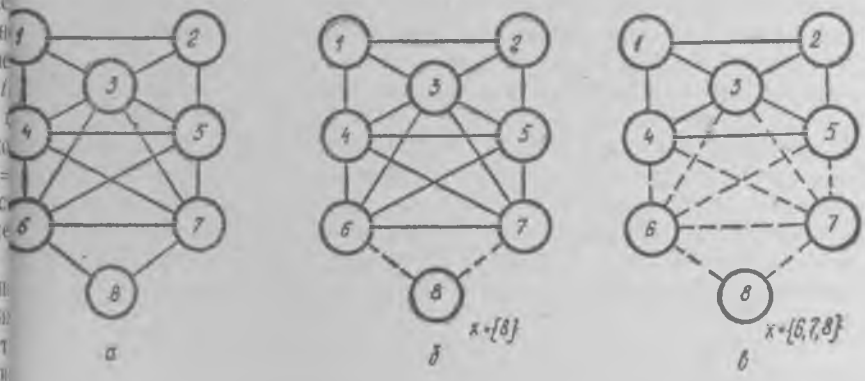
Таким образом, намечается первая часть алгоритма: нужно перебирать сверху вниз строки матрицы T и, найдя строку удовлетворяющую свойству (в), вывести выявленную клику удалить все обнаруженные хорошие вершины (запомнив их множестве X) и продолжать просмотр матрицы T, пока хороши вершины (а после удаления старых хороших вершин будут воз никать новые хорошие вершины) не исчезнут. При этом ил весь граф будет разобран, или останется его неразбираема часть, состоящая только из плохих вершин.

Мы продемонстрируем эту простую идею на примере (рису нок). На рисунке, позиция *а*, показан исходный граф. В нем имеется только одна хорошая вершина — *8*. Когда эта вершин найдена, то находится клика {6, 7, 8}, вершина *8* удаляется (реб ра из нее на рисунке заменены на пунктирные), и она запоми нается в множестве X. Теперь появляются две новые хороши вершины *6* и *7*. По алгоритму обнаруживается хорошая вершин *6*, клика {3, 4, 5, 6, 7} и заодно еще одна хорошая вершина *7* Вершины *6* и *7* удаляются и запоминаются в X. Оставшийс граф из вершин $I = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ не имеет хороших вершин и здес

нужно перейти ко второму этапу алгоритма — лексикографическому перебору всех подмножеств множества I.

На этом этапе можно справиться и с другим способом «запорченности» графа — нехваткой в клике малого числа пропущенных ребер. Для этого надо задать «допуски» — отождествить, например, числа $t_{ii}-1$ и t_{ii}. Но мы не будем далее останавливаться на этой ветви исследования.

Для ясности рассмотрим вторую часть алгоритма тоже на примере — неразобранной части графа (рисунок, позиция $в$), но более детально.



а б в

Для перебора всех подмножеств C множества I нам понадобятся три множества: уже сформированное множество X и два множества N и D, которые зависят от рассматриваемого подмножества. Пусть рассматривается подмножество C, $C \subseteq I$, $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_k\}$, $c_1 < c_2 < \ldots < c_k$. В множество N включим те элементы из I, которые больше c_k, а в множество D — те элементы из $I \setminus C$, которые меньше c_k. Множество N нам понадобится для порождения очередного подмножества C, а множества X и D для того, чтобы узнать, расширяемой или нет является клика C.

Начнем с $C = \{1\}$. Это множество есть клика. Для него $D=0$, а $N = \{2, 3, 4, 5\}$. Добавим к C первый элемент из N. Теперь $C = \{1, 2\}$, $D = 0$, $N = \{3, 4, 5\}$. C — еще клика. Продолжим расширение C прежним образом: $C = \{1, 2, 3\}$, $D = 0$, $N = \{4, 5\}$. C все еще клика. Пойдем дальше: $C_{\text{нов}} = \{1, 2, 3, 4\}$. Это не клика. Тогда образуем $C_{\text{нов}}$ из $C_{\text{стар}}$ и следующего элемента N: $C_{\text{нов}} = \{1, 2, 3, 5\}$. Это не клика и N исчерпалось. Следовательно, $C = \{1, 2, 3\}$ — клика, не расширяемая в N. Осталось проверить, расширяется ли она в D или в X. Но $D = 0$, а ни одна вершина из X вместе с C не образует клики. Поэтому $C = \{1, 2, 3\}$ есть нерасширяемая клика и ее нужно вывести. (Теперь удобно заметить, что на первом этапе алгоритма перед выводом клики тоже нужно делать проверку нерасширяемости в текущем X).

Перейдем к следующему в лексикографическом порядке перспективному подмножеству. За подмножеством {1, 2, 3} лексикографически следует подмножества {1, 2, 3, 4}, {1, 2, 3, 4, 5}, {1, 2, 3, 5}, {1, 2, 4}, {1, 2, 5}, {1, 3} и т. д. Все подмножества, кроме последнего, рассматривать уже бессмысленно, ибо мы убедились, что подмножества {1, 2, 3} с любым индексом из N {4, 5} не образуют клики. Теперь нужно рассматривать подмножество {1, 3}, которое получается из {1, 2, 3} уменьшением мощности на единицу и заменой последнего элемента на следующий, т. е. 2 на 3.

Действуя и далее описанным образом, мы будем порождать подмножества согласно следующему протоколу: 1, 3 — расширяема в N, **1, 3, 4** — не расширяема в N; D, X — вывести; 1, 4 — не расширяема в N, расширяема в D — не выводить; 2 — расширяема в N; *2, 3* — расширяема в N; 2, 3, 4 — не клика; 2, 3, 5 — не расширяема в N, D, X — вывести; 2, 4 — не клика; 2, 5 — не расширяема в N, расширяема в D — не выводить; 3 — расширяема в N; 3, 4 — расширяема в N; 3, 4, 5 — не расширяема в N, расширяема в X — не выводить; 3, 5 — не расширяема в N, расширяема в D — не выводить; 4 — расширяема в N; 4, 5 — не расширяема в N, расширяема в D — не выводить; 5 — не расширяема в N, расширяема в D — не выводить; ___ — конец.

В результате работы второй части алгоритма выведены клики {1, 2, 3}, {1, 3, 4} и {2, 3, 5}.

Выше мы объяснили и продемонстрировали на примере работу алгоритма для перечисления клик графа. Говоря о программах, Дейкстра [5] справедливо утверждал, «что большинство из них появляется в виде, рассчитанном на механическое исполнение, но совершенно непригодном для человеческого восприятия». Это высказывание равно относится и к алгоритмам, поэтому мы не станем затемнять высказанные соображения их формальным техническим описанием.

Список литературы: 1. *Бёрж К.* Теория графов и ее применения.— М.: Изд-во иностр. лит., 1962, с. 45—58. 2. *Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н.* Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика.— М.: Мир, 1980.— 123 с. 3. *Кук С. А.* Сложность процедур вывода теорем.— Кибернетический сборник, 1975, № 12, с. 5—15. 4. *Карп Р. М.* Сводимость комбинаторных проблем.— Кибернетический сборник, 1975, № 12, с. 16—38. 5. *Дейкстра Э.* Дисциплина программирования.— М.: Мир, 1978.—96 с.

Поступила в редколлегию 29.03.82.

УДК 612.82.014

А. Ю. ЧИЖОВ, Б. А. СМИРНОВ

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО ИЛИ СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРОВ ОПЕРАТОРА

Качественная диагностика функциональных состояний оператора имеет первостепенное значение в реализации адаптивных алгоритмов его деятельности. Надежным инструментом диагностики является применение коротких тестовых испытаний, результаты которых позволяют оценить динамику протекания различных психических процессов. Часто используются тесты определения абсолютных и дифференциальных порогов чувствительности, показатели зрительной работоспособности, определение критической частоты слияния мельканий, критической частоты слияния фосфена и др. [1].

Однако, как правило, психофизиологические показатели оператора изменяются во времени под действием самых различных причин, к которым можно отнести биологические ритмы, действие раздражителей на другие анализаторы, статистические свойства раздражителя, исходную установку и т. п. Поэтому по результатам однократного тестирования невозможно сделать достоверный вывод. Переход к многократным испытаниям связан с большим отрывом оператора от его непосредственной деятельности. Кроме того, длительное исследование, например зрительного или слухового анализаторов, вызывает их дополнительное утомление, что также снижает достоверность получаемых оценок. В связи с этим интересно рассмотреть возможности сокращения времени в каждом отдельном испытании.

Наиболее распространенным и надежным является способ оценки состояния зрительного или слухового анализаторов, заключающийся в определении критической частоты слияния световых (КЧСМ) или звуковых (КЧСЗ) мельканий. Сущность данного способа получения оценки заключается в плавном изменении частоты мельканий сигналов раздражителя и определении такой частоты, при которой оператор перестает различать отдельные сигналы раздражителя [2].

Раздельное восприятие мельканий сигналов раздражителя возможно в том случае, если их частота не превышает частоту протекания нервных процессов. Критическая частота слияния (КЧС) характеризует лабильность нервной ситемы оператора. Чем больше КЧС, тем выше лабильность нервной системы. С точки зрения сенсорики изменение функционального состояния оператора должно проявляться в снижении значения КЧС, что связано с увеличением инерционности нервных процессов при утомлении и воздействии разнообразных стрессоров.

Рассматриваемому способу оценки состояния зрительного или слухового анализаторов присущи определенные недостатки. В частности, относительно большая продолжительность одного

испытания. Выбор скорости изменения частоты мельканий сигналов раздражителя определяется адаптационными возможностями анализаторов, временем принятия решения оператором и временем формирования ответных действий в том случае, если он определил КЧС. Данные обстоятельства вызывают необходимость многократного применения теста. Например, в работе [2] рекомендуется испытания на определение КЧС проводить не менее трех раз. Каждое испытание требует большого внимания оператора, что вызывает повышение его напряженности и дополнительного утомления анализаторов.

С целью сокращения времени проведения одного испытания предлагается изменить порядок предъявления сигналов раздражителя оператору. Вместо плавного изменения частоты мельканий осуществляется выбор определенных дискретных значений. Для этого предварительно находят зону допустимых значений изменения частоты мельканий:

$$\Delta f = f_{max} - f_{min},$$

где f_{max} — максимальное значение частоты мельканий; f_{min} — минимальное значение частоты мельканий.

Кроме того, определяют некоторую последовательность положительных чисел $\{\gamma_i\} = \left\{\gamma_i \mid \gamma_i = \frac{1}{2^i}\Delta f;\ \forall i = \overline{1, l}\right\}$. Здесь i — номер шага предъявления раздражителя оператору, а l — общее число шагов, определяемое допустимой погрешностью измерений ε из соотношения $\frac{1}{2^e}\Delta f \leqslant |\varepsilon|$ **(1)**. Затем оператору предъявляют дискретную последовательность сменяющих друг друга во времени состояний раздражителя $F_i (i = \overline{1, l})$ с частотой мельканий сигнала на i-м шаге предъявления, определенной из выражения $F_i = F_{i-1} \pm \pm \gamma_i$ **(2)**, причем знак плюс выбирается в том случае, если на $i-1$-м шаге оператор видел мелькание, а минус — если не видел. При этом начальная частота F_0 выбирается равной f_{max} или f_{min}.

Затраты времени на проведение одного испытания можно сделать минимальными в том случае, если зону допустимых значений изменения частоты мельканий сигнала раздражителя Δf^* определять исходя из характерных и ранее измеренных для конкретного оператора значений

$$f^*_{max} \text{ и } f^*_{min}, \text{ т. е. } \Delta f^* = f^*_{max} - f^*_{min}.$$

Сущность предлагаемого способа оценки состояния зрительного или слухового анализаторов заключается в следующем. Значение КЧС может с равной вероятностью находиться в любой точке зоны допустимых значений частоты Δf мельканий сигнала раздражителя. Следовательно, зону Δf можно разделить на две равные части, одна из которых содержит КЧС, а другая нет. Оператору для определения КЧС можно предъявлять среднюю точку зоны Δf, т. е. частоту мельканий $F_1 = f_{max} - \frac{1}{2}\Delta f$.

В том случае, если он видит мелькания, КЧС находится в высокочастотной части зоны Δf, если нет — то в низкочастотной части. Очевидно, что после проведенного измерения ширина допустимой зоны изменения мельканий, содержащей КЧС, уменьшилась до значения, равного $\frac{1}{2}\Delta f$. На втором шаге предъявления опять выбирают частоту мельканий, равную средней частоте допустимой зоны, ограниченной на предыдущем шаге. Проведя аналогичные измерения, определяем новое значение зоны допустимых значений, которое будет равно $\frac{1}{4}\Delta f$. Таким образом, описанный процесс измерения КЧС представляет собой дискретную последовательность (состоящую из l шагов) предъявления состояний раздражителя оператору, отличающихся значением частоты мельканий F_i. После каждого измерения получаем новую область значений частоты мельканий, содержащую КЧС и которая в 2 раза меньше предыдущей.

Например, для определения КЧСМ оператора выбирают $f_{max} = 60$ Гц, а $f_{min} = 20$ Гц. Тогда зона допустимых значений частоты мельканий светового сигнала равна $\Delta f = f_{max} - f_{min} = 40$ Гц. Пусть требуется определить КЧСМ с точностью $\varepsilon = \pm 1{,}25$ Гц. Неравенство (1) выполняется для данного $|\varepsilon|$ в том случае, если $l = 5$. В соответствии с методикой, изложенной выше, оператору на 1-м шаге предъявляется состояние раздражителя с частотой $f_1 = f_{max} - \frac{1}{2}\Delta f = 40$ Гц. Если оператор видит мелькания световых сигналов, то на 2-м шаге ему предъявляют состояние раздражителя с частотой $F_2 = F_1 + \frac{1}{4} = \Delta f$ 50 Гц, а если нет, то с частотой $F_2 = F_1 - \frac{1}{4}\Delta f = 30$ Гц. Аналогичным образом определяется предъявляемая частота мельканий световых сигналов для последующих состояний раздражителя. При этом КЧС $= F_l$.

Время на каждое предъявление и принятие решения оператором составляет (1—2) с. Общее время на определение КЧСМ при 5 шагах составит (5—10) с. В известных методиках для определения КЧСМ с такой же точностью необходимо плавно изменять частоту мельканий световых сигналов от 20 до 60 Гц. Этот процесс также можно представить дискретным рядом значений частот, отличающихся друг от друга на 1,25 Гц. Этот ряд содержит 32 значения частот мельканий. Даже если учесть, что для определения КЧСМ достаточно будет предъявить 50—60 % значений ряда частот, то и в этом случае затраты времени на испытание (при тех же условиях) составят (16—32) с, т. е. в 3 раза больше, чем в предлагаемом способе.

Если известны характерные для конкретного оператора значения f^*_{max} и f^*_{min}, то затраты времени на испытания становятся минимальными. Например, пусть КЧСМ конкретного оператора

лежит в пределах от $f^*_{max} = 40$ Гц до $f^*_{min} = 30$ Гц. В этом случае $\Delta f^* = 10$ Гц и точность измерения КЧСМ, равная $\pm 1{,}25$ Гц, достигается уже на 3-м шаге предъявления оператору состояния раздражителя. Таким образом, значение КЧСМ может быть найдено примерно за 3 с.

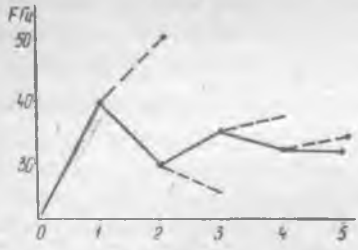


Рис. 1

На рис. 1. изображено дерево перебора, поясняющее сущность предлагаемого способа оценки состояния зрительного или слухового анализаторов.

На рис. 2. приведен вариант структурной схемы устройства, с помощью которого реализуется рассмотренный способ определения КСЧМ.

Устройство содержит источник (*1*) мелькающего света, генератор (*2*) импульсов, частота следования которых равна Δf, генератор (*3*) импульсов, частота следования которых равна f_{max}, преобразователь (*4*) код — частота, предназначенный для получения величин γ_i, блок (*5*) вычисления значения текущей частоты F_i предъявления, регистр сдвига (*6*), элемент ИЛИ (*7*), кнопки (*8, 9*) ответов, блок (*10*) определения направления изменения частоты (в сторону увеличения или в сторону уменьшения) и измеритель частоты (*11*).

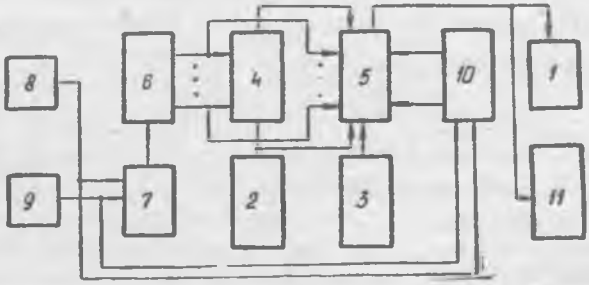


Рис. 2

Преобразователь код — частота (например, типа К 155ИЕ8), в зависимости от состояния регистра сдвига, изменяет частоту γ_i; в соответствии с выражением

$$\gamma_i = A_5 \frac{\Delta f}{2} + A_4 \frac{\Delta f}{4} + A_3 \frac{\Delta f}{8} + A_2 \frac{\Delta f}{16} + A_1 \frac{\Delta f}{32}.$$

Например, если $\Delta f = 40$ Гц, то на 3-м шаге предъявления $\gamma_3 = 5$ Гц, так как в этом случае $A_3 = 1$, а $A_5 = A_4 = A_2 = A_1 = 0$ (где $\{A\}$ — состояние регистра сдвига).

Блок *5* вычисляет значение текущей частоты предъявления в зависимости от номера шага предъявления и характера отве

та оператора на предыдущем шаге, в соответствии с выражением (2). Например, для $i=3$, имеем

$$F_3 = \left\{\left[\left(f_{\max} - \frac{1}{2}\Delta f\right) \pm \frac{1}{4}\Delta f\right] \pm \frac{1}{8}\Delta f\right\}.$$

С частотой F_3 будет предъявлен оператору источник мелькающего света. Причем выбор знака «плюс» или «минус» в последнем выражении зависит от того, как ответил оператор на соответствующих предыдущих шагах. Если он видел мелькания, то ставится плюс, если нет — то минус.

Оператор свои ответы вводит в устройство с помощью кнопок *8* («Видел») или *9* («Не видел»). После каждого ответа, сигнал с кнопки, нажатой оператором, поступает через элемент ИЛИ в регистр сдвига и устройство переходит в режим следующего шага предъявления. Кроме того, ответ оператора запоминается в блоке *10* для определения направления изменения частоты (или для определения знаков в расчетном выражении).

После предъявления l состояний мелькающего источника света работа устройства заканчивается. При этом измеритель частоты покажет значение F_l = КЧСМ. Если на l-м шаге предъявления оператор ответил, что видит мелькания, то КЧСМ определена с точностью $F_l + \gamma_{l+1}$, если нет — то с точностью $F_l - \gamma_{l+1}$.

Применение рассмотренного способа в устройствах для оценки состояния оператора психофизиологическими методами ускоряет процесс получения необходимых оценок, снижая тем самым напряжение оператора при испытании и сокращая время его отвлечения.

Список литературы: 1. *Зинченко В. П., Мунипов В. М.* Основы эргономики.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.— 344 с. 2. *Межотраслевые* рекомендации по разработке рациональных режимов труда и отдыха.— Изд. 2-е, дополненное.— М.: Экономика, 1975, с. 39—40.

Поступила в редколлегию 10.02.82.

УДК 510.62

З. Ю. МАЛЕНЧЕНКО, Г. А. ПРАСОЛ

О МОДЕЛИРОВАНИИ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЗВУКОВОЙ И ТЕКСТОВОЙ ФОРМАМИ РЕЧЕВОГО СООБЩЕНИЯ

Человек обладает способностью превращать текстовые сообщения в звучащую речь, он также может записать речь с голоса. Задача автоматизации этой способности человека имеет большое народнохозяйственное значение. Ее решение позволило бы автоматизировать труд стенографа, создать аппаратуру, озвучивающую сообщения, дало бы возможность оборудовать вычислительные системы устройствами речевого ввода и вывода

информации. Создание аппаратов подобного назначения обеспечило бы заметное продвижение вперед по всему фронту работ автоматизации труда человека. Представляется реальной постановка задачи о создании в обозримом будущем специального прибора с размерами транзисторного приемника, выполняющего анализ и синтез звучащей речи.

Анализ речи заключается в автоматическом восприятии разборчиво звучащего речевого сообщения, продуцируемого любым человеком — носителем русского языка. В результате осуществляется световая индикация отрезка текста этого сообщения длиною в несколько слов в виде бегущей строки. Кроме того производится передача двоичного кода текста сообщения к вычислительному устройству или печатающему аппарату по специальному каналу связи. Формируемый прибором текст сообщения не будет безупречным в орфографическом отношении. В нем будут учтены лишь основные фонетические и орфографические правила (например, звучание *синево, дуп, сонце* будут преобразованы в тексты *синего, дуб, солнце*). Прибор не сможет преобразовать звучание *чек* и *Сан Саныч* в тексты *человек* и *Александр Александрович* и сохранит их в первоначальном виде. Синтез речи состоит в формировании звучащего сообщения по коду текста, вводимого в аппарат извне (например, от вычислительной машины), голосом того диктора, который непосредственно перед этим обращался к аппарату с речью. Голос диктора будет имитироваться весьма приблизительно: автомат не сможет «комкать» слова, управлять интонацией речи и выполнять другие тонкие действия, доступные человеку.

Создание прибора с описанными выше функциями должно основываться на работах по моделированию способности человека к восприятию речи и к речеобразованию. Это моделирование, в свою очередь, должно базироваться на изучении и математическом описании связей, имеющих место между звучащей и текстовой формами речевого сообщения. Звук и текст чрезвычайно далеки друг от друга, их можно уподобить противоположным берегам очень широкой реки. Выявить и описать отношения, связывающие звук и текст, не проще, чем перебросить мост через такую реку. Одним пролетом широкую реку не перекрыть, нужны промежуточные опоры. Подобно этому, для успеха моделирования нужно ввести между звуком и текстом несколько промежуточных объектов: 1) первичный портрет звука; 2) вторичный портрет звука; 3) акустические признаки звука; 4) фонетические признаки звука; 5) фонему звука.

При переходе от звучащей речи к ее первичному портрету используется эффект сглаживания в слухе [1]. Осциллограмма звука преобразуется в некоторую последовательность биполярных импульсов. Вся информация о звуке речи в процессе этого преобразования сохраняется: озвучивание первичного портрета звука приводит к звучанию, неотличимому на слух от исходного звучания. В роли первого объекта моделирования будет высту-

пать отношение, связывающее осциллограмму звука с его первичным портретом. При переходе от первичного портрета звука ко вторичному происходит отстройка портрета от громкости и определение уровня громкости речевого сообщения, отстройка от высоты тона и определение высоты тона речевого сообщения, отстройка от тембра звука, формируемого голосовыми связками говорящего, и определение характеристик тембра, отстройка от индивидуальных особенностей резонирования в речеобразующем тракте человека и определение характеристик этого резонирования, отстройка от индивидуальных особенностей шумообразования в органе речи и определение характеристик этого шумообразования. В процессе обратного перехода от вторичного портрета к первичному происходит настройка портрета на нужные громкость, высоту тона, тембр голоса, на нужные режимы резонирования звуков и генерирования шумов. В роли второго объекта для моделирования выступает отношение, связывающее первичный и вторичный портреты речевого сообщения.

При переходе от вторичного портрета звука к набору его акустических признаков производится разложение звука на его физически значимые компоненты. В результате производится членение портрета звука на акустически однородные участки, оценка относительной длительности этих участков, оценка на этих участках амплитуды сигналов, их частотного состава, выявление характерных особенностей рисунка сигнала и т. д. В процессе обратного перехода по значениям акустических признаков синтезируется вторичный портрет звука. Третьим объектом моделирования служит отношение, связывающее вторичный портрет с набором акустических признаков звука. При переходе от акустических признаков звука к фонетическим производится разложение звука на его психологически значимые компоненты. В результате формируются фонетические характеристики звука: гласный — согласный, сонорный — шумный, твердый — мягкий, долгий — краткий, смычный — щелевой и т. д. В процессе обратного перехода определяются значения акустических признаков по заданным значениям фонетических признаков. Четвертым объектом моделирования служит отношение, связывающее между собой акустические и фонетические признаки звука.

При переходе от значений фонетических признаков к фонетическому представлению звука формируется фонема, т. е. знак, обозначающий класс звуков, тяготеющих к определенной букве текста. Обратное преобразование состоит в замене фонетического знака набором соответствующих ему значений фонетических признаков звука. Отношение, связывающее фонему с набором признаков звука, может служить пятым объектом для моделирования. На последнем этапе вводится отношение (шестой объект для моделирования), связывающее фонетическую запись текста с его орфографической записью. Переход от фоне-

тической записи текста к орфографической и обратно совершается на основе правил языка, регулирующих произношение (фонетические правила) и написание (орфографические правила) слов. Ниже описывается понятие фонемы, предназначенное для целей моделирования связей между звуковой и текстовой формами речевого сообщения.

Анализ литературных данных из области фонетики показывает, что приемлемого для наших целей понятия фонемы не существует. Поэтому нам придется ввести понятие фонемы, несколько отличное от уже известных. Определяя понятие фонемы, мы будем исходить из следующего критерия: фонетические знаки должны быть максимально приближены к орфографическим знакам, т. е. к буквам текста. Удовлетворяя этому критерию, мы максимально сократим различие между фонетическим и орфографическим текстом речевого сообщения и этим облегчим моделирование весьма сложного отношения, связывающего эти тексты. Лучше всего было бы в качестве фонем принять все буквы русского алфавита. Однако в точности это сделать невозможно: буквы ь, ъ при всем желании нельзя трактовать как звуки речи, а буква щ — это либо мягкое ш, либо последовательность из двух звуков шч. Остальные 30 букв русского алфавита допускают вполне определенную фонетическую интерпретацию, их мы и примем для обозначения фонем.

В *понятии фонемы* можно выделить три стороны. Во-первых, это просто знак; во-вторых, это класс некоторых звуков: в-третьих, это нечто, тяготеющее к одноименной букве орфографического текста. Полностью отождествить фонему с орфографической буквой нельзя (например, звучит *дуп*, а пишется *дуб*). Полную математическую характеристику фонемы как знака мы получим, вводя переменную фонему x со значениями из множества {а, б, в, г, д, е, ё, ж, з, и, й, к, л, м, н, о, п, р, с, т, у, ф, х, ц, ч, ш, ы, э, ю, я}. Это определение фонемы можно записать в виде следующего индивидуального предиката: Фон $(x) =$ $= x^{а} \vee x^{б} \vee x^{в} \vee x^{г} \vee x^{д} \vee x^{е} \vee x^{ё} \vee x^{ж} \vee x^{з} \vee x^{и} \vee x^{й} \vee x^{к} \vee x^{л} \vee$ $\vee x^{м} \vee x^{н} \vee x^{о} \vee x^{п} \vee x^{р} \vee x^{с} \vee x^{т} \vee x^{у} \vee x^{ф} \vee x^{х} \vee x^{ц} \vee x^{ч} \vee x^{ш} \vee$ $\vee x^{ы} \vee x^{э} \vee x^{ю} \vee x^{я}$ (1).

Формула, стоящая справа от знака равенства, записана на языке алгебры конечных предикатов [2]. Утверждение, что x есть фонема, эквивалентно уравнению Фон $(x) = 1$.

Может вызвать возражение то обстоятельство, что в число фонетических знаков не включены мягкие фонемы $б^{ь}$, $в^{ь}$, $г^{ь}$ и т. д., как это обычно делается в фонетике. Мы, однако, считаем, что такое решение отдалило бы алфавит фонем от алфавита букв орфографического текста. Вместе с тем удваивать число согласных фонем для наших целей нет никакой необходимости, этого можно достичь иным путем, вводя признак палатализации звука со значениями — твердый и мягкий. Нет никаких препятствий для использования этого признака при описании связи между фонетической и орфографической записями

текста. Другое возможное возражение состоит в том, чтобы не вводить десять знаков для обозначения гласных звуков, а оставить, к примеру, только пять, как это часто принимается авторами фонетических систем [3]. Действительно, вводя десять гласных фонем, мы допускаем, по классическим понятиям, некоторую избыточность в числе фонем, но зато максимально приближаем алфавит фонетических знаков к алфавиту орфографических букв.

Во введенной системе фонетических знаков можно усмотреть еще и тот недостаток, что она игнорирует часто встречающиеся в русской речи звуки: щелевое г ($\bar{г}$) и звонкие ц, ч ($\bar{ц}$, $\bar{ч}$), присутствующие, к примеру, в таких текстах: *Учгиз*, *Гинцбург*. Этот недостаток системы нейтрализуется тем, что фонема г, ч, ц трактуются в ней расширительно — и как звуки г (смычное), ч, ц, (глухие), и как звуки $\bar{г}$, $\bar{ч}$, $\bar{ц}$, а выбор конкретного звука из каждой пары регулируется значениями признаков смычной — щелевой (для звуков г — $\bar{г}$) и глухой — звонкий (для звуков ч — $\bar{ч}$, ц — $\bar{ц}$).

Еще один недостаток вводимой фонетической системы можно усмотреть в том, что в ней отсутствуют специальные знаки для обозначения гласных звуков в безударном положении, имеющих стертое, промежуточное звучание по сравнению со звучанием ударных гласных. Это возражение отводится благодаря тому, что в случае нечеткого звучания гласного звука прибор, автоматически анализирующий звуки речи, будет выдавать сразу все множество (или его часть) возможных в данном случае гласных фонем, поскольку такая возможность предоставляется алгеброй конечных предикатов. Например, первое о в слове *домой* будет распознано прибором как фонема из множества {а, о}. Вряд ли прибор сможет сделать это точнее, поскольку ухо принимает как правильный тот и другой звук, а значит будут встречаться на практике оба варианта произношения как допустимые. Вместе с тем, этой неполной информации, как мы полагаем, будет достаточно, чтобы однозначно выбрать орфографический знак, удовлетворяющий правилам фонетики и орфографии русского языка.

Остановимся на звуковой характеристике некоторых из введенных фонем. Гласные фонемы а, о, у, ы, э — это непалатализованные звуки, которые звучат, например, в словах *там, торт, тут, тыл, пэр*. Гласные фонемы я, ё, ю, и, е — это палатализованные звуки, присутствующие, к примеру, в словах *дядя, тётя, ключ, синь, тень*. Фонема й звучит, например, в начале слова *яма* и в конце слова *сарай*. Гласные фонемы, а также й и сонорные л, м, н, р могут звучать как звонко (речь голосом), так и глухо (речь шепотом). Согласные б, в, г, д, ж, з при шепоте превращаются в фонемы п, ф, к, т, ш, с, поэтому при речи шепотом число фонем сокращается до 24. Формальное определе-

ние фонемы как знака для речи шепотом задается следующим индивидуальным предикатом:

$$\text{Фнш}\ (x) = x^{а} \vee x^{е} \vee x^{ё} \vee x^{и} \vee x^{й} \vee x^{к} \vee x^{л} \vee x^{м} \vee x^{н} \vee x^{о} \vee x^{п} \vee$$
$$\vee x^{р} \vee x^{с} \vee x^{т} \vee x^{у} \vee x^{ф} \vee x^{х} \vee x^{ц} \vee x^{ч} \vee x^{ш} \vee x^{ы} \vee x^{э} \vee x^{ю} \vee x^{я}. \quad (2)$$

Пример записи текста в описанной выше фонетической системе приведен в таблице. Как мы ожидаем, такую запись текста можно будет получить в результате преобразования звучащей речи с помощью автоматически действующего аппарата. В первой строке таблицы указана орфографическая запись текста, во второй — фонетическая запись текста при речи голосом, в третьей — фонетическая запись при речи шепотом, в четвертой — значения т — твердый и м — мягкий признака палатализации. Фонетическая запись текста формировалась следующим образом. На месте каждой буквы текста произносились всевозможные фонемы. При этом одни фонемы всегда отвергались как неподходящие, другие же фонемы хотя бы иногда принимались слушателями. Все принимаемые фонемы указаны в фонетической записи текста как допустимые варианты его произношения. Такие варианты, очевидно, возможны в речевой практике человека, поэтому автоматически действующий аппарат вряд ли во всех без исключения текстах сможет формировать фонетический текст с более высокой точностью, чем указано в таблице.

В таблице учтено, что мягкое произношение гласного звука в ряде случаев с течением времени переходит в твердое. Можно ожидать, что аппарат, распознающий эти фонемы, это изменение сможет зарегистрировать. Мы полагаем, что объема информации, содержащегося в подобной фонетической записи, будет достаточно для последующего построения по ней орфографического текста речевого сообщения. Вместе с тем фонетическую запись такой точности можно будет уверенно извлекать из звучащего речевого сообщения. Возможным будет также и обратный переход от орфографического текста к фонетическому, а от него — к звучащему речевому сообщению.

Рассмотрим теперь вопрос о *наборе фонетических признаков звука*. Такой набор должен удовлетворять следующим требованиям, обусловленным его ролью связывающего звена между звуком и фонемой этого звука. 1) Значения признаков должны однозначно определяться фонемой в заданном тексте. 2) Признаки должны быть достаточно информативными, чтобы по их значениям всегда можно было бы синтезировать звук, воспринимая который слушатель смог бы уверенно распознать в нем соответствующую фонему. 3) Значения всех признаков звука должны надежно извлекаться из осциллограммы звука. 4) Значения признаков в своей совокупности должны обеспечивать однозначное определение соответствующей фонемы.

у	л	у	к	0	м	0	р	ь	я	д	у	б	з	е	л	ё	н	ы	й
у	л	у	к	а о	м	0	р	й	еэ яа	д	у	б	з	е и	л	ёо	н	ы э	й
у	л	у	к	а о	м	0	р	й	еэ яа	т	у	п	с	е и	л	ёо	н	ы э	й
т	т	т	т	т	т	т	м	м	мт	т	т	т	м	м	м	мт	т	т	т
з	л	а	т	а		я	ц	е	п	ь	н	а	д	у	б	е	т	о	м
з	л	а о	т	а	й	е я	ц	е	п		н	а ы	д	у	б	е и	т	о	м
с	л	а о	т	а	й	е я	ц	е	п		н	а ы	т	у	п	е и	т	о	м
т	т	т	т	т	м	м	м	м	м		т	т	т	т	м	м	т	т	т
и	д	н	ё	м	и	н	0	ч	ь	ю	к	0	т	у	ч	ё	н	ы	й
ы и	д	н	ёо	м	э и ы	н	0	ч	й	ю	к	0	т	у	ч	ёо	н	ы э	й
ы и	т	н	ёо	м	э и ы	н	0	ч	й	ю	к	0	т	у	ч	ёо	н	ы э	й
т м	т м	м	м	т м	т м т	т	т	м	м	м	т	т	т	т	м	мт	т	т	м
в	с	ё	х	0	д	и	т	п	0	ц	е	п	и	к	р	у	г	о	м
в ф	с	ё	х	0	д	е и	т	п	0	ц	э е	п	и	к	р	у	г	о	м
ф	с	ё	х	0	т	е и	т	п	0	ц	э е	н	и	к	р	у	х	о	м
т м	м	м	т	т	м	м	т	т	т	т м	т м	м	м	т	т	т	т	т	г

Введем *признак вокализации звука* y_1 со значениями в — вокали зованный, н — невокализованный. Вокализованный звук — это звук произносимый при работающих голосовых связках, т. е. с участие голоса. Невокализованный звук произносится без голоса, при вы ключенных голосовых связках. При речи шепотом все звуки не вокализованы. При речи голосом невокализованы глухие соглас ные, а гласные и звонкие согласные вокализованы. Осциллограм ма вокализованного звука обладает характерной особенностью — квазипериодичностью, невокализованный звук такой особенности не обладает [4]. Поэтому имеется возможность уверенного из влечения из звучащей речи значений признака вокализации. Можем записать $y_1^{\text{в}} \vee y_1^{\text{н}} = 1$ (3).

Человек может вести свою речь в двух режимах — голосом и шепотом. В соответствии с этим фактом вводим *признак режима речи* y_2 со значениями г — речь голосом, ш — речь шепотом. В процессе нормальной речи голосом голосовые связки на интерва ле времени в одну секунду обязательно включаются в работу. Этот факт дает возможность надежного разделения речи по ее звучанию на речь голосом и речь шепотом. Если в течение се кунды переменная y_1 ни разу не приняла значения в, то $y_2 = \text{ш}$, в противном случае $y_2 = \text{г}$. Полагаем, что $y_2^{\text{г}} \vee y_2^{\text{ш}} = 1$ (4).

Признаки y_1 и y_2 определенным образом связаны между со бой. Эту связь можно формально записать в виде следующего уравнения: $y_2^{\text{ш}} \supset y_1^{\text{н}} = 1$ (5). Это уравнение означает, что в речи шепотом все звуки невокализованы.

Каждому из допустимых наборов признаков y_1, y_2 соответствует одна или несколько фонем x. Это соответствие может быть формально описано следующим уравнением: $(y_1^{\text{в}} \vee y_2^{\text{ш}})\,\text{Гсй}(x) \vee y_1^{\text{в}}\,\text{Зшс}(x) \vee y_1^{\text{н}}\,\text{Гсг}(x) \vee \text{Афф}(x) = 1$ (6), где $\text{Гсй}(x) = x^{\text{а}} \vee x^{\text{е}} \vee x^{\text{ё}} \vee x^{\text{и}} \vee x^{\text{о}} \vee x^{\text{у}} \vee x^{\text{ы}} \vee x^{\text{э}} \vee x^{\text{ю}} \vee x^{\text{я}} \vee x^{\text{л}} \vee x^{\text{м}} \vee x^{\text{н}} \vee x^{\text{р}} \vee x^{\text{й}}$ (7), $\text{Зшс}(x) = x^{\text{б}} \vee x^{\text{в}} \vee x^{\text{г}} \vee x^{\text{д}} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{з}}$ (8), $\text{Гсг}(x) = x^{\text{к}} \vee x^{\text{п}} \vee x^{\text{с}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ф}} \vee x^{\text{х}} \vee x^{\text{ш}}$ (9), $\text{Афф}(x) = x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}}$ (10).

Здесь предикат $\text{Гсй}(x)$ формализует понятие гласного или сонорного или звука й, предикат $\text{Зшс}(x)$ — звонкого шумного согласного, $\text{Гсг}(x)$ — глухого согласного, $\text{Афф}(x)$ — аффрикаты. Содержательно уравнение (6) с учетом отношений (3) — (5) означает, что: 1) гласные, сонорные и й в речи голосом всегда вокализованы, в речи же шепотом они всегда невокализованы; 2) звонкие и шумные согласные всегда вокализованы; 3) глухие согласные, кроме аффрикат ц и ч, всегда невокализованы; 4) аффрикаты могут встречаться при любом допустимом (в смысле уравнения (5)) наборе значений признаков y_1 и y_2, они в речи голосом могут быть как вокализованы (ц, ч), так и невокализованы.

Произнося гласные, сонорные или й шепотом, мы обнаруживаем, что слушатель воспринимает их как те же самые фонемы, произнесенные голосом. Таким образом, эти фонемы устойчивы

изменению режима речи. Если же мы попытаемся произнести шепотом звонкие шумные согласные, то увидим, что они становятся другими фонемами: б переходит в п, в — в ф и т. д. Правда, лицам с достаточно тонким слухом иногда удается в речи шепотом различить б от п, в от ф и т.д, основываясь на тончайших отличиях в произношении этих звуков. Этот факт мы, однако, в уравнении (6) не учитываем, полагая, что преждевременно ставить задачу о создании автомата, способного выполнять столь тонкую работу по распознаванию звуков речи. Пытаясь произнести голосом глухие согласные, мы всегда переводим их в другие фонемы: к превращается в г, х — в г, п — в б и т. д. Если же озвончаются аффрикаты, то ц переходит в ц, а ч — в ч. Таким образом, в этом случае мы остаемся в пределах той же самой фонемы.

Список литературы: 1. *Эффект* сглаживания в слухе / О. М. Абрамов, А. Я. Дрюченко, С. А. Усенко, Ю. П. Шабанов-Кушнаренко.— Проблемы бионики, 1977, вып. 19, с. 31—37. 2. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об алгебре конечных предикатов.— АСУ и приборы автоматики, 1979, вып. 50. с. 14—20. 3. *Аванесов Р. И., Сидоров В. П.* Очерк грамматики русского литературного языка.— М.: Учпедгиз, 1945.— 236 с. 4. *Бондаренко Л. В.* Осциллографический анализ речи.— Л.: Высшая школа, 1965.— 46 с.

Поступила в редколлегию 29.03.82.

УДК 510.62

А. И. ТУХ, канд. техн. наук

ЗНАЧИМОСТЬ ИНФОРМАЦИИ И ПСИХОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. (ТЕОРИЯ СРЕДНЕГО)

Количественная мера информации не характеризует всех свойств сообщения: равные по количеству информации сообщения могут иметь разную значимость для потребителя [1].

В литературе обсуждаются различные подходы к формализации ценностных свойств информации, ее значимости применительно к техническим [2, 3] и гуманитарным направлениям [4, 5]. Эту значимость обычно связывают с конечным результатом конкретной задачи, постулируя цену результата с учетом или без учета свойств получается сообщения [6].

Наша задача заключается в выявлении и обосновании феномена значимости информации посредством исследования с позиций функциональной и эволюционной целесообразности модели психики и тех проявлений ее движения (алгоритмов обработки информации) при взаимодействии с внешними объектами, которые связаны с такими понятиями как чувства и эмоции (в психологии), рефлексы (в физиологии), прекрасное (в эстетике). Для облегчения задачи будем стремиться к максимальному упрощению ее, рассматривая процессы и явления в самом первом приближении и неизбежно односторонне.

Такое рассмотрение потребует перевода ряда понятий в формализуемые термины, определяющие функции целесообразно действующей модели психики с тем, чтобы найденные решения можно было проверить экспериментально и оценить числом.

Чувство и сигнал управления. При недостатке, например, желудочного сока возникают сигналы рассогласования, управляющие механизмами выделения желудочного сока. Эти сигналы мы не осознаем. Но когда недостаточно питательных веществ, возникают сигналы рассогласования, управляющие механизмами поиска пищи, которые мы осознаем и называем чувством голода.

Внешние объекты (и явления), воздействуя на органы чувств, вызывают сигналы, управляющие рефлекторными реакциями. Эти сигналы мы также осознаем и называем их, например, чувством страха, боли и др.

Различные сигналы управления вызывают разного рода реакции, но они могут быть сопоставлены между собой по величине. Например, если на пути животного к пище или другой потребности (воде, половому партнеру и др.) установить токопроводящую площадку, то можно подобрать такое шаговое напряжение, которое, вызывая болевой сигнал, остановит животное. Таким образом, в единицах шагового напряжения можно измерить величину болевого сигнала и соответствующего ему сигнала потребности [7].

Рефлекторная реакция и признаки объекта. Каждый реальный объект характеризуется практически бесконечным числом внешних параметров L_i различной размерности. Объекты различаются между собой признаками, складывающимися из различий в параметрах ΔL_i. Эти признаки вызывают рефлекторную реакцию. Естественно, рефлекторная реакция вырабатывается на некоторый эталон, обладающий средними по данному роду объектов признаками. Суммарная реакция по всем признакам должна складываться из суммы реакций по каждому признаку. Например, реакция на пищевую потребность может вызываться лишь запахом или вкусом, но может вызываться и тем и другим, будучи соответственно усиленной. Точно так же суммарная реакция на несколько половых признаков партнера будет складываться из реакций на отдельные признаки.

Каждый признак может иметь различную значимость. Естественно предположить, что эта значимость зависит от превышения величины признака ΔL_i над его разбросом по данному роду объектов (и не зависит от знака), т. е. является функцией отношения $\Delta L_i^2/\sigma_i^2$, где σ_i^2 — дисперсия данного параметра L_i по данному роду объектов.

Можно также предположить, что отношение $\Delta L_i^2/\sigma^2\sigma_i^2$ (нормированный признак) является тем раздражителем, который в определенном интервале значений вызывает рефлекторную реакцию, подчиняющуюся логарифмическому закону Вебера — Фехнера.

Так как при отсутствии раздражителя ($\Delta L_i = 0$) должна отсутствовать и рефлекторная реакция ($P_i = 0$), то для зависимости рефлекторной реакции от величины признака получим

$$P_i = \alpha \ln\left(\frac{\Delta L_i^2}{\gamma_1^2 \sigma_i^2} + 1\right), \qquad (1)$$

где α, γ_1 — постоянные.

Эта величина пропорциональна количеству информации (по Шеннону) о результате измерения величины ΔL_i при точности измерения $\gamma_1^2 \sigma_i^2$.

Если в (1) логарифмическая составляющая характеризует объект, то коэффициент α характеризует состояние особи, например, уровень пищевого или полового голода по отношению к соответствующей потребности. Он может изменяться во времени и равняться нулю.

Для суммарной рефлекторной реакции имеем $P = \sum_i P_i$ (2).

Эстетическая реакция и критерий красоты. Каждый объект (явление) вызывает определенные (положительные или отрицательные) эмоции в связи со своими эстетическими свойствами, определяемыми его внешними характеристиками (параметрами).

Связь значимости информации с эстетическим чувством очевидна, поэтому перед нами стоит задача формализовать понятие эстетического. Проблема эстетического, его природы имеет древнюю историю, но естественнонаучный подход с позиций целесообразности впервые, по-видимому, был сформулирован Гегелем [8] и Чернышевским [9]. Согласно Гегелю, «эстетическим является тот предмет, в котором через его особенно с наибольшей полнотой проявляется общее». Другими словами, прекрасное (положительно эстетическое) есть среднее по параметрам среди данного рода объектов.

Если объекты данного рода расставить в ряд по степени отклонения σL_i их параметров от средних $\hat{L}_i$ по данному роду, то на первом месте будет тот объект, у которого наименьшие отклонения от среднего, т. е. самый красивый, а далее по ряду с увеличением отклонений степень красоты будет уменьшаться. Наступит очередь таких объектов, отклонения которых настолько большие, что их будут оценивать уже как некрасивые, а еще далее — как уродливые. Это означает, что существует некоторое пороговое отклонение $\sigma L_{\text{пор}}$, такое, что объекты с меньшими отклонениями будут относиться к красивым, а с большими — к некрасивым. Это означает также, что в психике в результате взаимодействия с однородными объектами образуются их средние — эталоны данного рода, и каждый объект при его обнаружении сравнивается со своим эталоном, определяется его отклонение от эталона и это отклонение сопоставляется с пороговым. В зависи-

мости от того, меньше или больше это отклонение от порог возникает положительная или отрицательная эстетическая реа но ция, эмоция. сл

Положительная эмоция «закрепляет» сложившийся эталон т. е. накладывает новый образ на эталон, уточняя его. Отриц тельная эмоция приводит к запоминанию нового образа вне эт лона, закладывая начало для создания нового образа — эталона

Здесь обнаруживается функциональная роль эстетического ве чувства в процессе создания и уточнения образов-эталонов объек тов внешнего мира, т. е. отражении его в психике.

При взаимодействии с объектами одновременно возникают ка рефлекторная P, так и эстетическая реакция N. Результирующа реакция R на объект определяется суммой этих реакций: $R = P + N$ (3). Здесь видна и другая функциональная роль эсте тического чувства и соответствующей реакции: при малых по сравнению с пороговыми отклонениях результирующая реакци усиливается, при больших — уменьшается. В случае очень боль ших отклонений от эталона, что вызывается ошибкой опознава ния, рефлекторная реакция может быть подавлена эстетической Целесообразность этого очевидна.

Если фенотип полового партнера сильно отличается от средне него, то половой рефлекс будет подавлен. Но большие откло нения от среднего в фенотипе с большой вероятностью могут быть связаны с наличием мутаций в генотипе. Таким образом, с помощью психического аппарата каждая особь посредством статистической обработки опытных данных по популяции обнару живает наличие мутаций у полового партнера и, в зависимости от вероятности этой мутации, определяемой степенью отклоне ния фенотипа от среднего, вырабатывает сигнал, подавляющий половой рефлекс. Так осуществляется активный популяционный отбор, управление наследственностью. Здесь проявляется важ ная биологически целесообразная роль эстетической реакции.

Естественно предположить, что пороговое отклонение связано с дисперсией σ^2 и отклонение от среднего, выраженное в едини цах порогового, определяет эстетическую реакцию на признак β. Принимая логарифмическую зависимость эстетической реакции от нормированного отклонения и учитывая, что при пороговом от клонении эстетическая реакция должна отсутствовать, получим

$$N_i = -\beta \ln \frac{aL_i^2}{\gamma^2 \sigma_i^2}, \qquad (4)$$

где β, γ — постоянные. Это соотношение между эстетическим чув ством и нормированным отклонением представляет критерий кра соты. Суммарная эстетическая реакция складывается из частных: $N = \sum_i N_i$ (5).

Для картины, содержащей много образов и параметров, можно предположить, что отклонения параметров от средних являются случайными величинами, распределенными по нормальному закону

$$\varphi(\sigma L) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{\sigma L^2}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

а суммарная эстетическая реакция на картину является конечной величиной вне зависимости от числа параметров:

$$N = -\sum_{i=1}^{k} \beta \ln \frac{\sigma L_i^2}{\gamma^2 \sigma_i^2} = s. \quad (7)$$

Здесь $|s| < \infty$. Отсюда получаем

$$\ln\gamma^2 = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \ln \frac{\sigma L_i^2}{\sigma_i^2} - \frac{s}{k\beta}. \quad (8)$$

В пределе при $k \to \infty$ первое слагаемое в правой части (8) принимает значение математического ожидания, а второе — стремится к нулю. Поэтому можно написать:

$$\ln\gamma^2 = \int_0^{\infty} \left(\ln \frac{\sigma L^2}{\sigma^2}\right) \varphi(\sigma L)\, d(\sigma L). \quad (9)$$

Для постоянной γ^2 находим

$$\gamma^2 = \exp\left(-\frac{c + \ln 2}{2\sqrt{2\pi}}\right). \quad (10)$$

Здесь c — постоянная Эйлера. Вычисления дают $\gamma^2 = 0{,}776$.

Из (4), (6) находим распределение эстетической реакции:

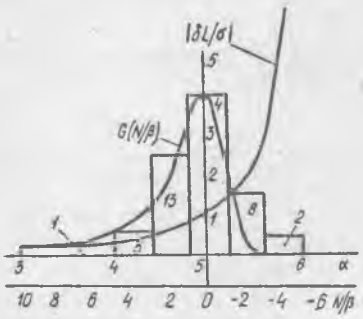
$$G\left(\frac{N}{\beta}\right) = \frac{\gamma}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\gamma^2 e^{\frac{N}{\beta}} - \frac{N}{\beta}\right)\right]. \quad (11)$$

Нейтральная реакция ($N = 0$) находится вблизи максимума распределения, соответствующего отклонению, равному среднему квадратическому. Это означает, что согласно теории наиболее часто должны встречаться эстетические реакции, близкие к нейтральной (нулевой), наиболее красивые и некрасивые должны встречаться редко.

Результаты эксперимента. Нам удалось провести небольшой эксперимент для проверки соотношения (11) для распределения эстетической реакции. Были использованы 48 индивидуальных портретов восточных словян и полученный как средний из них 49-й обобщенный фотопортрет. Материал заимствован из статьи [10].

Перед группой женщин ставилась задача назвать в порядке приоритета номера портретов красивых и некрасивых. По отдельности было опрошено 13 человек. Оказалось возможным оценить по 4 градации красоты и некрасивости. Красивым присваивались места с 1-го по 4-е; нейтральным (не названным в числе красивых или некрасивых) — 5-е, некрасивым — с 6-го

по 9-е. Были рассчитаны средние места для каждого портрета. На рисунке приведена гистограмма средних мест α, составленная с теоретической кривой распределения эстетической реакции (11). Получено совпадение хода кривой и вида гистограммы, а также положение максимумов. Кроме того, из эксперимента получен процент красивых, равных 59 (29 из 39). Процент красивых может быть получен теоретически из отношения



$$K = \frac{\int_0^{\gamma\sigma} \varphi(\delta L)\, d(\delta L)}{\int_0^{\infty} \varphi(\delta L)\, d(\delta L)} 100\,\%, \quad (12$$

величина которого определяется значением постоянной.

Для принятого в (10) значения получаем $K = 62\ \%$, что также хорошо совпадает с экспериментальным результатом. Экспериментально подтверждено также утверждение, что наиболее эстетичным является среднее, так как портрет № 49 занял первое место по красоте.

Ниже приводится таблица результатов опроса.

№ п/п	Ф. и. о.	Приоритет по красоте	Приоритет по некрасивости
1	А. Н. Д.	49 12 7 44	17 16 18 3
2	Б. А. С.	36 23 12	17 2 4
3	Ю. А. О.	49 46 7	17 14 41
4	Б. Т. Н.	29 12 46	17 23 35
5	К. Л. А.	24 19 7	17 23 11
6	С. Н. К.	44 49 48	18 17 35
7	Ш. С. В.	44 5 3	17 45 35
8	М. Г. А.	15 40 44 48	17 41 11 123
9	Ш. Н. С.	С 15 49 21	17 23 2
10	С. Э. К.	9 49	45 22 2 18
11	Д. Т. Н.	5 19 49	17 31
12	Д. Р. А.	5 37 9 49	17 35 41
13	Г. Г. С.	49 5 6 32 39	17 35 22

Впечатление, память и значимость. Информация, поступающая в мозг, запечатлевается в памяти по-разному: чем она значимее, чем больше впечатления, тем ярче. Соответственно объекты, вызвавшие большее эстетическое чувство, производят большее впечатление и оставляют в памяти более интенсивный отпечаток. Кроме того, они окрашивают отпечаток, создавая приятное или неприятное впечатление, т. е. положительное или отрицательное в зависимости от знака эстетического чувства. Естественно предположить, что впечатление пропорционально эстетической реакции.

Сложение и уточнение эталонов как процесс обучения представляет собой непрерывный эксперимент, исходами которого являются встречи с объектами и их запечатление.

Если за время памяти τ было всего m_i исходов опыта, а из них опыт со встречей признака ΔL_i имел n исходов, то вероя

ность (частость) исходов этого опыта есть $p_i(\Delta L_i) = m_i/n$. Количество информации для отдельного исхода $I_i = -p_i \log p_i$ (13). Эта величина также должна изменять впечатление [4], т. е. интенсивность запоминания.

Малой информативностью ($I_i \to 0$) обладают очень редкие, случайные образы ($p_i \to 0$), для которых еще не сложился эталон, которые еще непонятны, неузнаваемы, а также часто встречаемые образы ($p_i \to 1$), для которых уже сложился четкий образ-эталон, информация о которых банальна, неинтересна. Существенно и то, что при $p_i = 0$ выражение (13) имеет бесконечно большую производную, т. е. резко возрастает при малейшем опыте.

Со временем впечатление ослабевает, отпечаток в памяти стирается, образ забывается. Наиболее вероятно процесс забывания протекает со временем экспериментально [11]:

$$\Pi_i = \Pi_0 \exp\left(-\frac{t_i - t_0}{\tau}\right), \tag{14}$$

где τ — постоянная памяти.

Для образа-эталона, который складывается из направляемых при запечатлении образов их отпечатков в память, забывание целесообразно тем, что оно освобождает эталон как текущее среднее от консервативного груза устаревшего и неточного опыта [11].

Окончательно для величины значимости информации о признаке ΔL_i, его весе при сложении образа-эталона имеем

$$\Pi_i = N_i I_i \exp\left(-\frac{t_i - t_0}{\tau}\right). \tag{15}$$

Выводы и рекомендации. Исследование с позиций функциональной и биологической целесообразности природы различных проявлений движения психики позволило построить психодинамическую модель со следующими свойствами.

В модели заложен алгоритм, позволяющий характеризовать каждый объект количеством информации о признаках его образа-эталона. Для управления реакцией на объект-потребность вырабатывается величина значимости информации о признаках объектов-потребностей, которую можно назвать прагматической значимостью. Для управления механизмом сложения образа-эталона (создания представления о мире, его отражения) вырабатывается величина «отражательной» значимости.

Установлена связь величины значимости с природой понятия эстетического и связь эстетического с эталоном, являющимся текущим средним по данному роду объектов. Сформулирован критерий эстетического, определяемый пороговым отклонением, равным среднегеометрическому квадрату отклонения от эталона. Выполнен эксперимент, подтвердивший основные теоретические выводы относительно эстетической реакции.

Однако следует провести прямые экспериментальные исследования всех теоретических выводов посредством измерения реакций на различные значения параметров L_i, ΔL_i, δL_i, σ_i, m_i, n, τ.

В модели предполагается наличие начальных эталонов и дисперсий. Экспериментально подтверждается наличие врожденных элементарных эталонов [12], но данных о врожденных дисперсиях не имеется. Это является важной экспериментальной проблемой. Здесь же возникает теоретическая проблема формирования сложного эталона из элементарных врожденных.

Вывод о том, что эталон складывается из измерений с допороговыми отклонениями, ставит теоретическую задачу сопоставления скорости схождения к истинному значению среднего из всех измерений и среднего из измерений с допороговыми отклонениями.

В заключение отметим, что изучение проблемы значимости информации с позиций целесообразности может позволить обосновать, углубить и расширить понятия теории информации.

Список литературы: 1. *Харкевич А. А.* О ценности информации.— Проблемы кибернетики, 1960, № 4, с. 206. 2. *Бонгард М. М.* О понятии «полезности информации».— Проблемы кибернетики, 1963, № 9, с. 71—102. 3. *Стратонович Р. Л.* Теория информации.— М.: Сов. радио, 1975.— 424 с. 4. *Моль А.* Теория информации и эстетическое восприятие.— М.: Мир, 1966.— 356 с. 5. *Голицын Г. А.* Информация и законы эстетического восприятия.— Число и мысль, 1980, вып. 3, с. 192. 6. *Коган И. М.* Прикладная теория информации.— М.: Радио и связь, 1981, вып. 12, с. 81—87. 7. *Макаренко Ю. А.* Мудрость чувств.— М.: Знание, 1970.— 56 с. 8. *Гегель.* Лекции по эстетике. Соч., т. 12.— М.: Соцэкгиз, 1938.— 440 с. 9. *Чернышевский Н. Г.* Эстетическое отношение искусства к действительности. Избранные произведения.— Минск, ГУПИ, 1954.—551 с. 10. *Павловский О. О.* О чем рассказывает обобщенный фотопортрет.— Наука и жизнь, 1980, № 1, с. 84—90. 11. *Фейгенберг И. М.* Вероятностное прогнозирование в деятельности человека.— М.: Наука, 1977.— 391 с. 12. *Глезер В. Д.* Механизмы опознания зрительных образов.— М.: Наука, 1967.— 65 с.

Поступила в редколлегию 10.02.82.

УДК 681.3.61

А. И. ГАЛАКТИОНОВ, В. Н. ЯНУШКИН

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОЙ И АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ — ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (ОБЕСПЕЧЕНИЯ) АСУ

Инженерно-психологическое проектирование (эргономическое обеспечение) АСУ ТП предполагает решение следующих основных задач адаптивного информационного воздействия человека и машины: анализ функций и решаемых задач контроля и управления, возлагаемых на систему и каждого члена оперативного персонала; выбор необходимых и достаточных состава и объема отображаемой на СОИ оперативной информации, а также целесообразных форм и средств ее отображения человеку-оператору; выбор эффективных принципов и способов отображения и кодирования информации; организация эффективного диалога между всеми компонентами системы управления.

С позиций системного подхода необходимо рассмотреть более широкий круг вопросов, возникающих при создании СЧМ. Здесь речь идет только об инженерно-психологическом проектировании (ИПП), связанном с функционально-информационным согласованием разрабатываемого проекта СОИ со структурой психической деятельности человека-оператора. ИПП является

основной и наиболее трудоемкой частью эргономического обеспечения АСУ, основой проекта деятельности человека в системе управления. Оно должно предшествовать другим видам частного эргономического проектирования (социально-психологическому, психолого-педагогическому, медико-психологическому, дизайнерскому).

Попытаемся свести решение перечисленных выше основных задач ИПП к задаче оптимизации оперативной и априорной информации как основы адаптивного информационного взаимодействия человека и машины в СЧМ.

Под оперативной информацией понимается информация, измеряемая с помощью датчиков или передаваемая по телефону (или с помощью других устройств) оператору о количественных значениях различных параметров, их отклонениях за допустимые значения, знаке и скорости их изменения и т. д. Оперативная информация обычно отображается на СОИ с помощью сигнализаторов, индикаторов, регистраторов.

Априорная информация — это те сведения, которыми должен располагать человек, чтобы в совокупности с оперативной информацией решать задачи контроля и управления объектом: а) сведения о контролируемых параметрах (их названия, физический смысл, принадлежность агрегатам и т. д.); б) о происходящих событиях — ситуациях (возможных в каждом участке объекта нарушений в технологическом процессе и неисправностей в работе оборудования, их признаках, логических связях между ними, значимости событий и т. д.); в) об управляющих воздействиях (возможных алгоритмах управления, их преимуществах в данной ситуации, о составе и последовательности управляющих операций в каждом алгоритме, сигналах их начала и исполнения и т. д.); г) о состояниях технических средств контроля, управления и отображения информации, решаемых ими задачах, правильности их решения и т. д.

Задача оптимизации информационного взаимодействия человека и машины — это задача, во-первых, выбора целесообразного объема и состава оперативной информации человеку-оператору на разных этапах решения текущих задач, во-вторых,— выбора видов, объема априорной информации, отображаемой оператору на СОИ с помощью различных способов отображения информации.

Решение первой из них требует знания не только всего состава задач контроля и управления, которые могут возникнуть перед оператором, но и причинно-следственных взаимосвязей между параметрами, а также знания механизмов решения человеком разных задач в различных условиях. С этой целью авторы провели инженерно-психологические эксперименты по изучению деятельности операторов ряда объектов.

Ответы на некоторые вопросы дали исследования характеристик деятельности человека-оператора, т. е. зависимостей вре-

менных, надежностных и других показателей деятельности от разных субъективных и объективных факторов. Однако эти исследования не могли дать ответ на главные вопросы о механизмах решения задач человеком, так как они проводились по методу «черного ящика», на входе которого варьируются значения факторов, а на выходе замеряются значения показателей деятельности. Поэтому характеристики деятельности — это косвенные параметры деятельности, которые трудно использовать для решения задач ИПП. Для этого необходимо знать сам процесс решения отдельных задач (состав, последовательность и длительность актов психической деятельности и т. д.), т. е. структуры психической деятельности. Исследование СПД требует применения специальных методов и средств исследования, решения вопросов об уровне исследования и языке описания и т. п.

Подразумевая под СПД относительно устойчивый порядок взаимосвязей между оперативными единицами деятельности (ОЕД), нам с помощью изучения глазодвигательной активности человека в сочетании с рядом других методик исследования удалось выявить используемый оператором АСУ ТП в различных условиях состав ОЕД, а также порядок и характер логических связей между ними. В качестве ОЕД оператор АСУ ТП может использовать технологические, функциональные, информационные и образные ОЕД. В качестве логических связей оператор использует производственно-технологические, пространственные, причинно-следственные и алгоритмические. Установлено, что определенным ОЕД соответствуют свои логические связи, что позволило нам обнаружить несколько частных СПД оператора-технолога: технологическую (ТСПД), топологическую (ТпСПД), функциональную (ФСПД), информационную (ИСПД), алгоритмическую (АСПД) и образную (ОСПД) *.

На стадии подготовки оператор формирует технологическую и (или) топологическую СПД для решения вспомогательных задач. При этом начинается формирование ФСПД и ИСПД, совершенствование которых идет, в основном, на стадии самообучения. Затем оператор переходит на новые концептуальные уровни деятельности, формируя АСПД и ОСПД с целью минимизации используемых в процессе контроля объекта ОЕД и перехода к более крупным ОЕД.

ФСПД и ИСПД представляют собой схемы причинно-следственных связей между функциональными и информационными ОЕД соответственно. Функциональные ОЕД — это фактические изменения состояния в технологическом объекте; информационные ОЕД — это непосредственно или косвенно отображаемая на СОИ часть функциональных ОЕД, причем зачастую требующих их выявления из многих значений отображаемых параметров на аналоговых, цифровых или регистрирующих приборах.

* Галактионов А. И. Основы инженерно-психологического проектирования АСУ ТП.— М.: Энергия, 1978.— 208 с.

В процессе самообучения оператор АСУ ТП постоянно совершенствует эти структуры, стремясь познать все большее число возможных ситуаций в объекте, их определяющие признаки, упорядочить логические связи между ними, т. е. оператор оптимизирует ФСПД и ИСПД в отношении полноты ОЕД и упорядоченности причинно-следственных связей. Оптимизация этих структур деятельности затрудняется неполнотой представленной на СОИ информации, которая непосредственно и косвенно отображает лишь часть функциональных изменений в объекте. Поэтому, формируя ИСПД из неполностью отображаемых ОЕД, оператору приходится сопоставлять отображаемую на СОИ информацию с реальной картиной возможных ситуаций в объекте. Это требует от человека совершенствования и систематизации имеющихся у него знаний об объекте и всех возможных изменениях в нем, т. е. формирования ФСПД и ее постоянного совершенствования, что облегчает совершенствование ИСПД. Для формирования и совершенствования ФСПД, в свою очередь, оператор должен хорошо знать технологический объект и закономерности происходящих в нем процессов. Только на основе этого оператор сможет сформировать свершенную ФСПД. Таким образом, в процессе обучения и самообучения идет постоянное взаимодействие между тремя основными рабочими СПД: технологической, функциональной и информационной, в результате чего оператор может достичь сравнительно высокой степени их оптимизации. Однако мы показали, что только относительно некоторой части объекта оператор может сформировать идеальную структуру. Для основных ее частей он может находиться на разных уровнях оптимизации СПД.

Различие идеализированных функциональной и информационной СПД определяет, с одной стороны, степень полноты информационного обеспечения оперативной информацией данного оператора, с другой — сложность формирования человеком-оператором совершенной СПД, сложность решения задач контроля и принятия решений.

Оператору при явной недостаточности оперативной информации для каждой конкретной ситуации приходится искать какие-то ухищренные нестандартные приемы выявления ОЕД, не отображаемых на СОИ, что порой представляет самую сложную часть решения задачи. К таким приемам можно отнести способы активного контроля, метод исключения измеряемых событий и т. п. Это часто приводит к разрушению соответствующих частей СПД и резкому снижению эффективности и надежности решения задач, к повышению психической напряженности оператора.

Поэтому одной из главных задач инженерно-психологического проектирования является задача оптимизации оперативной информации, включающая построение так называемой функционально-алгоритмической структуры (ФАС) процесса контроля

и управления объектом адекватной идеализированной ФСПД. Только ФАС обеспечивает знание всех возможных нарушений в объекте, их причин, управляющих воздействий, признаков (ОЕД), и упорядоченной структуры причинно-следственных связей между ними. И только это позволяет осуществить выбор необходимого и достаточного состава контролируемых параметров, оптимальной формы отображения их необходимых значений в конкретных ситуациях, разработать оптимальные алгоритмы контроля и управления.

В качестве подхода к решению этих и некоторых других задач ИПП нами предложен метод преобразования ФАС в функционально-информационную структуру (ФИС) процесса контроля и управления объектом.

Кроме оперативной информации оператор должен располагать необходимой априорной информацией, позволяющей ему с помощью оперативной информации успешно вести процесс контроля и управления объектом. Так, если посадить нового человека за СОИ, на которой беспорядочно размещены одинаковые по внешней форме приборы или сигнализаторы, то, пожалуй, ни одной задачи, ни одного действия или операции человек не сможет выполнить. Для этого у него должен быть заложен в памяти необходимый объем и состав априорной информации. Если взять другой крайний случай, когда новому человеку на СОИ вынесена вся необходимая априорная информация в виде советов и рекомендаций в словесной или другой понятной ему форме, то человек за такой СОИ сможет решать все задачи, хотя и с невысокой скоростью.

В реальных же случаях человек-оператор располагает большим запасом априорной информации, СОИ несет часть определенного вида и объема априорной информации, представляемой с помощью разных способов отображения и кодирования информации. Разные варианты СОИ (для одного и того же оператора) с одним и тем же составом и объемом оперативной информации различаются между собой в инженерно-психологическом аспекте только разными составами и объемами представленной априорной информации. И именно они определяют различия в эффективности и надежности решения задач и психической напряженности оператора при прочих равных условиях.

Эксперименты и психологический анализ деятельности с большой достоверностью подтверждают это.

В соответствии с этим интегральным критерием сравнительной оценки вариантов СОИ (с разными способами отображения и кодирования информации) должен быть критерий, учитывающий состав и объем априорной информации. Этот подход позволяет решить задачу синтеза СОИ в части выбора оптимальных способов и принципов отображения и кодирования информации. Нами предложен подход к оценке и выбору способов отображения информации.

Однако этот, на наш взгляд, эффективный подход требует проведения ряда исследований по изучению соответствия между априорной информацией, отображаемой на СОИ, и априорной информацией, имеющейся у человека в памяти. Эти и другие вопросы, связанные с задачей оптимизации априорной информации, представляемой человеку-оператору при работе с СОИ, при обучении и тренировке, в настоящее время являются предметом исследований авторов.

УДК 681.3:61

О. Н. ЛУКЬЯНОВА, М. Г. ШЕРМАРЕВИЧ, Э. П. ТУЛЮПА, К. И. КУЗЬМИНА, Т. М. СЕМИК

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

В настоящее время техника достигла такого совершенства, что ее возможности практически безграничны. Человек же, обслуживающий ее, по своим биологическим свойствам остался таким, как и тысячу лет назад. Поэтому именно возможности человека-оператора в большинстве случаев оказываются самым уязвимым звеном в системе «человек — машина». Для того чтобы до некоторой степени устранить эти противоречия, эргономика и инженерная психология предлагают следующие пути: проектирование техники с учетом возможностей особенностей человека, профессиональный отбор операторов в целях наилучшего соответствия его свойств и требований техники и контроль за состоянием и деятельностью человека-оператора во время его работы с тем, чтобы своевременно предупредить нежелательные отклонения. Мы считаем, что стратегию усовершенствования взаимодействия человека и машины необходимо расширить за счет включения средств управления состоянием человека-оператора, поддерживающих его на оптимальном уровне.

Разрабатываемая нами биотехническая автоматизированная система предполагает контроль в реальном масштабе времени состояния человека-оператора, а также выбор и осуществление управляющих воздействий. При такой постановке проблемы повышения надежности системы «человек — машина» перед нами стоят следующие задачи: определение индивидуальных особенностей человека-оператора; создание эталонов (критериев) функционального состояния человека-оператора; создание эталонов воздействия на человека-оператора; контроль и прогнозирование качества деятельности; контроль и прогнозирование функционального состояния; управление функциональным состоянием.

Решение задачи определения индивидуальных особенностей человека-оператора в существующих системах контроля состояния, как правило, отсутствует. Системы контроля, рассчитанные

на «средне-статистического» оператора, дают прогнозы низко удостоверности. Это положение можно улучшить путем введени определенных поправок на индивидуальность в эталоны состо ний. Для этого необходимо учитывать свойства личности и орг низма человека-оператора. Мы считаем, что при решении это задачи необходимо использовать системный подход и рассматр вать человека-оператора как конгломерат социологически психологических и физиологических особенностей. Такой подхо дает возможность создать более гибкую систему, чем в том слу чае, если человек-оператор рассматривается как носитель о ного, в лучшем случае — нескольких свойств, необходимых дл выполнения определенного круга задач [1].

В состав биотехнической системы, структура которой прив дена на рис. 1, войдут три последовательно разрабатываемы подсистемы: индивидуальных особенностей; критериев состояни и воздействий; контроля, прогнозирования и управления состо нием человека.

После оценки индивидуальных особенностей человека-опера тора с помощью первой подсистемы, с их учетом, второй очен важной подсистемой критериев будут выработаны критери состояний и воздействий.

Мы поставили перед собой цель на первом этапе отработат критерии трех состояний: релаксации, оптимальной работоспо собности и напряженности. Для этого в лабораторных условия нами разработаны средства для психофизиологического модели рования этих состояний. Часть этих же средств предполагает использовать в качестве управляющих воздействий, в частност средства ритмостимуляции.

Подсистема критериев, как и подсистема определения инди видуальных особенностей, является вспомогательной в плане решения общей задачи — контроля прогнозирования и управле ния состоянием человека-оператора. Она функционирует времен но, до момента формирования критериев состояний и управляю щих воздействий. Затем, с учетом индивидуальных особенносте личности и критериев состояний и воздействий, будет работат подсистема контроля, прогнозирования и управления состояние человека-оператора, решающая основную задачу биотехниче ской системы.

Особо интересной представляется задача управления состо нием человека-оператора. Эту задачу можно решать несколько ми путями (в зависимости от конкретных условий): 1) устраняя или ослабляя те факторы, которые вызывают нежелательны изменения в состоянии человека-оператора; 2) воздействуя н оператора средствами, направленно влияющими на его состо ние; 3) включая оператора в систему с внешней обратной связь для самоуправления состоянием.

В разрабатываемой биотехнической системе предусматрив ются все эти возможности.

ЧЕЛОВЕК-ОПЕРАТОР

Система сбора информации			Вычислительный комплекс		Средства психофизиологического моделирования состояний		
Качество деятельности	Параметры функциональных систем	Индивидуальные особенности	Подсистема индивидуальных особенностей	Автоматическое предъявление тестов при тестовых испытаниях Создание банка данных и выработка шкал по отдельным индивидуальным особенностям Автоматизированная обработка данных о социопсихофизиологических особенностях индивидуума и резервах организма и выработка интегрального показателя индивидуальных особенностей	Релаксация	Оптимальная работоспособность	Напряженность
			Подсистема критериев	Анализ качества деятельности и параметров функциональных систем Определение корреляции этих данных с управляющими воздействиями на человека-оператора Выработка критериев состояний и управляющих воздействий на человека-оператора с учетом интегрального показателя индивидуальных особенностей			
			Подсистема контроля прогнозирования и управления состоянием	Анализ качества деятельности и параметров функциональных систем человека-оператора, сравнение этих данных с критериями состояний Распознавание состояний Принятие решения об управляющем воздействии Выработка управляющих команд			

Рис. 1

В настоящее время разрабатывается подсистема индивидуальных особенностей (рис. 2), которая должна (в результате своей работы) определить интегральный коэффициент индивидуальных социопсихофизиологических особенностей личности. Эта подсистема, помимо решения основных задач биотехнической системы, может иметь самостоятельное значение и использоваться в медицине (предрасположенность к определенному виду заболеваний), в юриспруденции (выявление склонности к антисоциальным поступкам), при профотборе на производстве, в спорте, при перераспределении обязанностей в коллективе и пр. Подсистема включает средства сбора информации о социологических, психологических, физиологических особенностях личности и резервах организма посредством указанных на рис. 2 методик, а также технические средства обработки информации (съема, первичного преобразования и автоматической обработки).

В качестве аппаратуры съема и первичного преобразования предполагается использование специальных пультов экспериментатора и испытуемого для подключения к времяотсчетным устройствам, расположенным в УСО, электродов для съема электрических параметров функциональных систем испытуемого, преобразователей зрительной информации, предъявленной испытуемому, в электрический сигнал (прибор критической частоты слияния мельканий), а также масштабных преобразователей (4-х канального усилителя энцефалографа) для подачи нормированного сигнала в УСО. В состав вычислительного комплекса для автоматической обработки информации входят: микро-ЭВМ «Электроника-60», дисплей, внешние устройства (фотосчитыватель, перфоратор, консул и т. д.), устройство связи с объектом (УСО) «Сектор», разработанное Институтом кибернетики АН УССР [2, 3].

УСО «Сектор» ориентировано, главным образом, на применение в экспериментальных научных исследованиях. УСО может быть использовано совместно с накопителями измерительной информации (перфолента, магнитная лента) с последующим вводом накопленной информации в процессор (микро-ЭВМ).

Номенклатура узлов УСО обеспечивает построение разнообразных измерительных и исполнительных подсистем со средними метрологическими характеристиками.

Подсистемы с высокими и специальными метрологическими характеристиками могут быть построены путем включения в комплект разнородных приборов и устройств (например, серийных-аналоговых и цифровых измерительных приборов).

В основе построения УСО заложена конструктивная, электрическая и логическая унификация. УСО представляет собой набор унифицированных конструкций, блоков и узлов, из которых могут быть набраны те или иные измерительные, исполнительные или измерительно-исполнительные подсистемы в соответ

	Наименование определяемых индивидуальных особенностей	Наименование методик сбора информации
Социологические	Ипохондрия Депрессия Истерия Психопатия Мужественность — женственность Паранойя Психастения Шизофрения Гипомания Социальная интраверсия	Тестовые испытания по методике ММРI
Психологические	Переключение внимания	Время решения задач Количество ошибок
	Количество переработанной информации	Время решения задач Количество ошибок
Физиологические	Скорость свойства нервной системы	Критическая частота слияния мельканий (КЧСМ)
	Сила нервной системы	Время простой двигательной реакции (ВПДР)
	Эмоциональная устойчивость	ВПДР в эмоциогенных ситуациях
	Качество регулирования	Анализ вызванных реакций (КГР)
	Вегетативный баланс	Рефлекс Ашнера (ЭКГ)
	Резервы сердечно-сосудистой системы	Съем ЭКГ
	Резервы дыхательной системы	Схем электропневмограмм

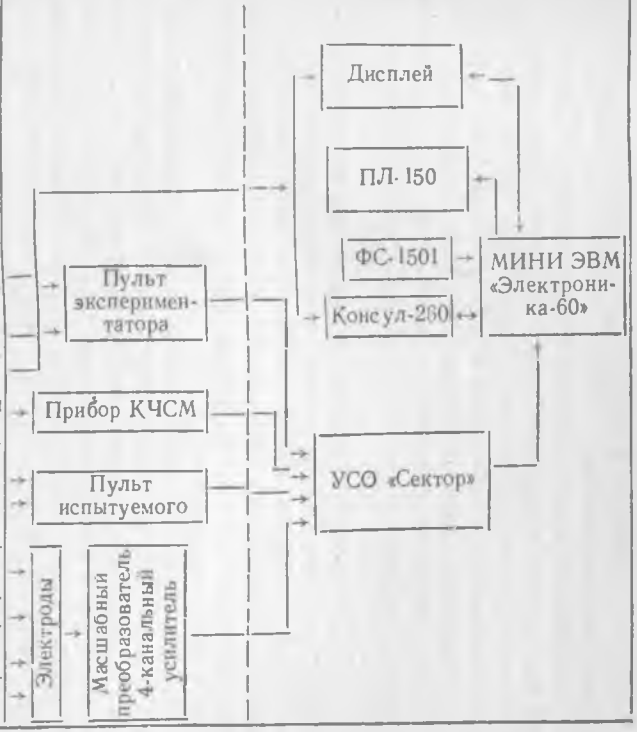


Рис. 2

ствии с требованиями конкретной задачи и характеристикам исследуемого объекта.

Основными конструктивными единицами УСО являются: пла та, на которой смонтирован тот или иной функциональный узе системы (регистр, счетчик, ЦАП, усилитель и т. д.); секци с разъемами типа «гнездо», объединяющая отдельные функцио нальные узлы (платы) в устройства и подсистемы.

Две секции размещены в приборном шкафу, образуя кон структивно законченное устройство — базовую модификаци УСО.

В УСО унифицированы напряжения питания (+5; +12, —12,6; +27; —27В) и разводка питания на контакты разъемо а также разводка большинства сигналов (тактировка, инфор мация, адреса, команды). Это позволяет устанавливать любу плату на любое место секции без каких-либо изменений мо тажа на плате, в секции.

Набор устройства или подсистемы производится на любы свободных местах (всего таких мест 16) путем установки в сек цию необходимых плат в определенном порядке. При этом вс необходимые связи между платами устройства, а также межд устройствами обеспечиваются неизменяемыми монтажными со единениями разъемов. Связь устройства с внешними источниками и приемниками информации (например, с датчиками объекта производится через передние (интерфейсные) разъемы пла

Базовая модификация УСО содержит: приборный шкаф дл размещения всех конструктивных элементов; пульт операто (экспериментатора), на котором расположены все элемент управления (клавиатура) и отображения (цифровая индик ция); две секции, из которых одна является общей для набира мых подсистем и содержит блок питания и общие платы управ ления системой, и вторая — предназначена для набора требуе мых подсистем.

Список литературы: 1. *Лукьянова О. Н.* Социологические и психофизиологи ческие основы профотбора и НОТ.— К., Препринт, ИК АН УССР, 1978.—39 с 2. *Малиновский Б. Н., Реутов В. В.* Принцип организации и исполь зования УСО «Мини-УВМ».— Мини-ЭВМ для систем автоматизации научны исследований и технологич. процессов, 1977, с. 54. 3. *Тулюпа Э. П., Севаст янов А. П.* Технические средства регистрации информации в составе УС «Мини-ЭВМ».— Мини-ЭВМ для систем автоматизации научных исследовани и технологич. процессов, 1977, с. 74.

Поступила в редколлегию 18.01.82

УДК 62.506.2

В. Ф. АНАНИН

О МЕХАНИЗМЕ РЕГУЛЯЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ. *СООБЩЕНИЕ 3*

В предыдущих сообщениях были рассмотрены два основных уровня регуляции сердечно-сосудистой системы (С-С) человека: регуляция сердца и микроциркуляторной (периферической) системы кровообращения (МС). Проанализируем механизм регуляции центральной системы кровообращения (ЦСК), выполняющей в С-С не только роль промежуточной системы с ее транспортной функцией между указанными выше двумя уровнями, но и координирующей системы, регулирующей объемы кровотока по отдельным регионам. Именно последняя функция ЦСК тесно связана с рефлексогенными зонами (РЗ), размещенными по всей С-С и с помощью которых в конечном итоге осуществляется регуляция ЦСК.

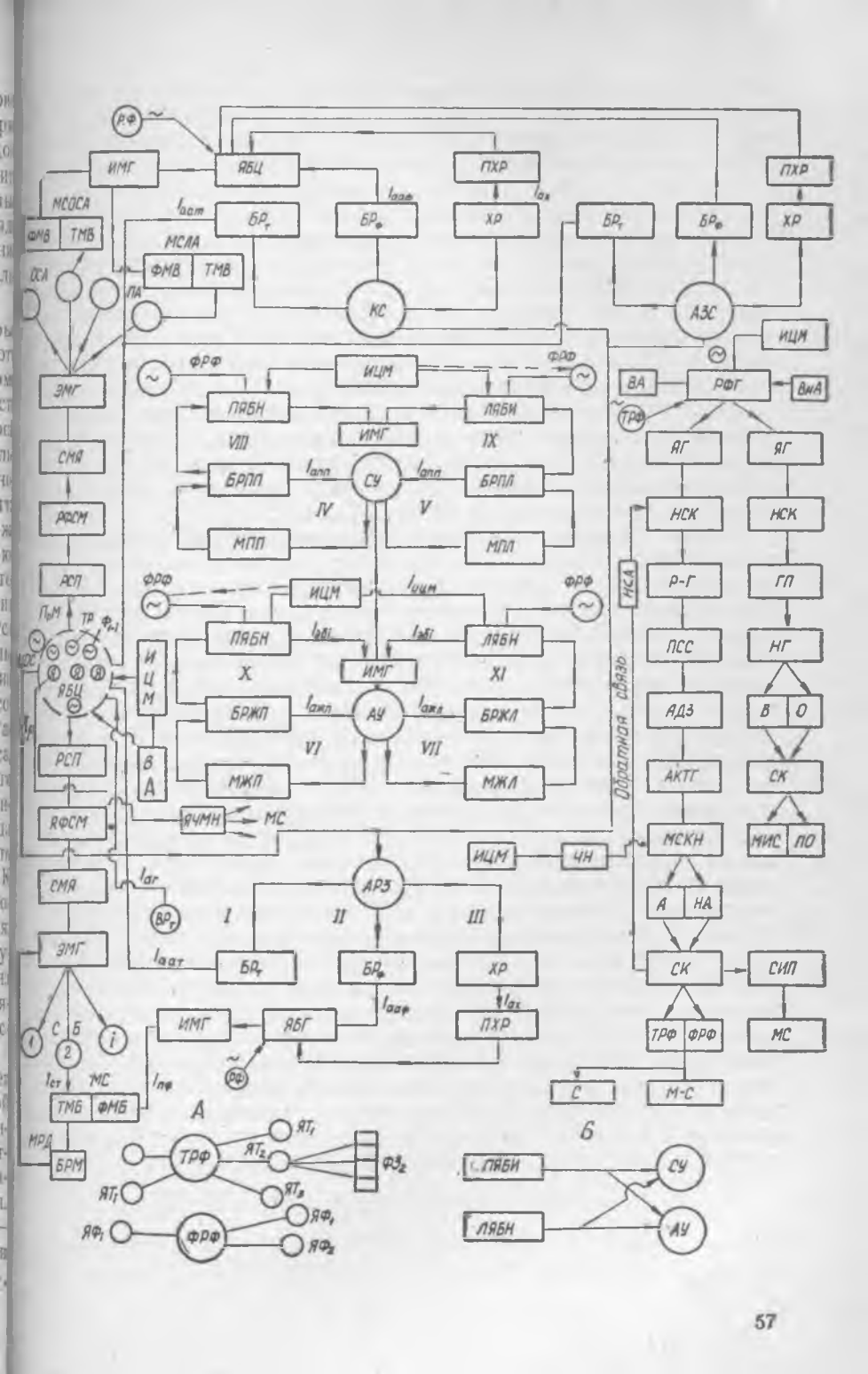
Сосуды ЦСК непосредственно не участвуют в регуляции МС, «а служат лишь для доставки крови в различные области тела». С их помощью прерывистый поток крови от сердца при подходе к периферической системе кровообращения постепенно трансформируется» в более равномерный кровоток» [1, с. 146]. Как известно, первоначально были обнаружены лишь две РЗ — аортальная рефлексогенная зона (АРЗ) и рефлексогенные зоны каротидных синусов (КС). Долгое время регуляцию С-С, в том числе сердца, связывали лишь с этими двумя РЗ. Впоследствии был открыт еще целый ряд РЗ и стало ясно, что анализ регуляции С-С нельзя ограничить указанными выше РЗ. Более того, по мнению [2] было доказано «широкое распространение рецепторов, чувствительных к колебаниям артериального давления, практически по всему сосудистому руслу». Тем не менее, теория саморегуляции кровообращения и прежде всего ЦСК основывается преимущественно на взаимодействии двух крупных рефлексогенных зон — АРЗ и КС. Именно на их базе разработана теория саморегуляции кровообращения Гейманса с сотрудниками (1929—1958 гг). [3], которая, по замечанию Б. С. Кулаева, является «общепринятой концепцией» [4].

«Суть этих представлений,— писал он,— сводится к тому, что благодаря наличию в аорте и каротидных синусах рецепторов, чувствительных к изменению артериального давления, всякий подъем его ведет к рефлекторному снижению вазомоторного тонуса и к ослаблению сердечной деятельности, вследствие чего давление возвращается к исходному уровню. Понижение артериального давления ниже нормы ведет к ослаблению импульсации от этих рецепторов, вследствие чего повышается тонус вазомоторного центра, усиливается сердечная деятельность и происходит восстановление исходного уровня [4, с. 7]. Основ-

ным недостатком концепции Гейманса считается то, что «происхождение нейрогенного вазомоторного тонуса в этой теории саморегуляции кровообращения по существу не находит удовлетворительного объяснения» [4, с. 7]. Она не смогла объяснить также целесообразность «густо насыщенных чувствительных нервных окончаний» [4, с. 8] по всей С-С, в том числе и ряда других рефлексогенных зон, помимо АРЗ и КС, раздражение которых сопровождается отчетливыми изменениями артериального давления.

Позднее были обнаружены хеморецепторы (ХР), которые в теории саморегуляции Гейманса также не учитывались, хотя их роль в регуляции артериального давления несомненна. Кроме того, были открыты и прессорные РЗ, что дало возможность В. Н. Черниговскому высказать точку зрения, согласно которой поддержание уровня артериального давления «является результатом баланса этих противоположных в функциональном отношении воздействий» [4, с. 8]. Наконец, было обнаружено, что «при изменении силы раздражения центральных концов блуждающих, депрессорных и синокаротидных нервов можно наблюдать не только депрессорные, но и прессорные реакции артериального давления» [4, с. 8]. Причем «усиление импульсации по двум парам депрессорных нервов всегда сопровождается понижением артериального давления, а ослабление этой импульсации — его повышением [4]. Именно на этом основании В. Н. Черниговский называет обе рефлексогенные зоны прессодепрессорными. Последние данные имеют принципиальное значение с точки зрения оценки теории саморегуляции Гейманса, так как приведенные выше факты трудно согласуются с его концепцией. Поэтому с учетом новых экспериментальных данных, а также разработанных нами [5] схем регуляции сердца и МС, возникает необходимость более критически осмыслить данную теорию. Разработанная автором схема регуляции ЦСК (рисунок) представляет собой биологический вариант многоконтурной системы связанного автоматического регулирования, в которой ряд ее контуров построен по типу технических замкнутых систем автоматического регулирования, а отдельные из них, связанные с корой, ответственной за интегративную деятельность мозга, построены по незамкнутому принципу. Рассмотрим каждый из этих контуров отдельно.

Контур I регуляции связан с АРЗ, которая контролирует величину артериального давления ($P_а$) на входе артериальной системы. Анализ показывает, что в крупных РЗ роль измерительного элемента выполняют, по крайней мере, три вида датчиков: барорецепторы двух видов, один из которых ($БР_ф$) реагирует на $dP_а / dt$, а другой ($БР_т$) — на $dP_а$ и хеморецепторы. Предположим, что $БР_ф$ связаны с фазической системой, а $БТ_т$ — с тонической (симпатической системой). Соответственно и пути иннервации от этих рецепторов будут различные (см. рисунок).


РФ
ИМГ
ЯБЦ
ПХР
ПХР
МСОСА
ФМВ
ТМВ
МСЛА
ФМВ
ТМВ
ОСА
ЛА
БРг
БРф
ХР
КС
БРг
БРф
ХР
АЗС
ИЦМ
ЭМГ
ФРФ
ИЦМ
ФРФ
ВА
РФГ
ВмА
ТРФ
ЛЯБН
ЛЯБИ
VIII
ИМГ
IX
СМЯ
БРПП
СУ
БРПЛ
IV
V
РФСМ
МПП
МПЛ
РСП
ФРФ
ИЦМ
ФРФ
ПыМ
ТР
ЛЯБН
ЛЯБИ
X
ИМГ
XI
ЯБЦ
И Ц М
БРЖП
АУ
БРЖЛ
VI
VII
РСП
В А
МЖП
МЖЛ
ЯФСМ
ЯЧМН
МС
СМЯ
АРЭ
ИЦМ
ЧН
ЭМГ
I
II
III
БРг
БРф
ХР
ИМГ
ЯБГ
ПХР
РФ
С
Б
МС
ТМБ
ФМБ
МРД
БРМ
А
ЯТ1
ЯТ2
ЯТ3
ТРФ
ФЭ2
ЯТ1
ЯФ1
ФРФ
ЯФ2
Б
ЛЯБИ
ЛЯБН
СУ
АУ
НСА
Обратная связь
АГ
ЯГ
НСК
НСК
Р-Г
ГП
ПСС
НГ
АДЗ
В
О
АКТГ
СК
МСКН
МИС
ПО
А
НА
СК
СИП
ТРФ
ФРФ
МС
С
М-С

Афферентный сигнал $I_{аат}$ с БР, возникающий при возрастании диастолического давления в АРЗ, поступает по своим афферентным путям на группы клеток ретикулярной формации (РФ) ответственной за тоническую форму активации), которые, в свою очередь, можно рассматривать как центральный отдел симпатической нервной системы (ЦОС). Последний схематично можно представить в виде нескольких локальных групп ретикулярных клеток (ТРФ), каждая из некоторых связана со своей группой ядер, строго ориентированных на те или иные функциональные системы (ФС). Причем, ТРФ размещена преимущественно в продолговатом мозге ($П_рМ$), хотя отдельные ее зоны могут находиться и в других участках ствола мозга. В этом смысле можно согласиться с заключением А. В. Вальдмана [6] «о наличии известной функционально-топографической дифференцированности нейронов бульбарного отдела». Прав он, видимо, и в том, что «существует преимущественность связи отдельных участков бульбарной ретикулярной формации с определенными сегментами спинного мозга» [6, с. 20].

Таким образом, при данной конструктивной организации центрального отдела ТРФ создается возможность обеспечить не только строго дифференцированную форму активации, но (при небольшом энергетическом потенциале ТРФ как генератора нервных импульсов с помощью ее ядер, выполняющих, с одной стороны, роль усилителей, с другой — структуры, на которые замыкаются афферентные сигналы местных рефлекторных дуг (МРД) и распространить активирующую функцию по значительным зонам организма. В данном случае $I_{аат}$, поступая в ЦОС, вызывает генерализованное (в рамках определенной зоны), уменьшение вазоконстрикции периферической системы кровообращения, понижая ее резистивное сопротивление $R_п$. Вероятно, справедливо утверждение, «что повышение давления крови в артериальной системе немедленно включает рефлекторное снижение периферического сопротивления. Эти механизмы функционируют по типу следящей системы» [7, с. 43]. Сам же путь эфферентного сигнала $I_{эс}$ после ТРФ проходит через ядра (Я), далее по ретикуло-спинальным путям (РСП), а точнее по ретикуло-спинальному тракту [8]. Сигнал поступает на группу клеток ретикулярной формации спинного мозга (РФСМ), а возможно и непосредственно на спино-мозговые ядра (СМЯ), также выполняющие роль усилителей, затем через экстрамуральные ганглии (ЭМГ) сигнал (с учетом его мультипликирования в ЭМГ) рассосредоточивается на мышечную систему эффекторов, вызывая ту или иную степень их вазоконстрикции. В общем виде это можно записать так:

$$I_{аат} = kdP_а;\ I_{эсі} = I_{эсо} + k_я I_{ицн} - k_я I_{аат}\ (*),$$

где $I_{эсо}$, $I_{ицм}$, $k_я$ — соответственно активность генерации нервных клеток ретикулярной формации, определяемая ее суточным рит-

мом; управляющий сигнал с ИЦМ; коэффициент преобразования $I_{аат}$ в эфферентный сигнал.

Из формулы (*) видно, что величина вазоконстрикции может колебаться как в большую, так и в меньшую сторону, в зависимости от интенсивности сигналов $I_{аат}$ и $I_{ицм}$. При наличии этих колебаний может создаться представление о наличии двух видов волокон и центров: вазоконстрикторных и вазодилятаторных. На самом деле имеет место, видимо, один вид центра и один вид симпатической иннервации, в которых изменяется всего лишь интенсивность сигнала $I_{эсi}$. Понятно, что при уменьшении $I_{эсi}$ степень вазоконстрикции понижается, в результате чего возрастает степень вазодилятации, и наоборот.

Из рисунка видно, что в контуре I имеет место ряд местных рефлекторных дуг (МРД), функции которых подробно описаны в работе [7]. Помимо афферентных нервных путей в РЗ, в том числе АРЗ, поступают эфферентные сигналы $I_{эн}$ из ТРФ, которые создают рабочий тонус барорецепторов и тем самым регулируют порог их чувствительности S_p. В зависимости от величины S_p определяется регуляция порогового значения

$$d\,P_{a\ пор} \text{ и } \frac{d\,P_{a\ пор}}{dt} = f\,(S_{пор}).$$

Контур II регуляции АРЗ связан с фазической системой, измерительным элементом которой служат $БР_{аф}$. Афферентный сигнал $I_{ааф} = kdP_o/dt$ с них поступает на ядра блуждающего нерва (ЯБН), вызывая усиление эфферентного сигнала $I_{эб}$ с ЯБН. Запишем для определенного динамического диапазона $I_{эбi} = I_{эбо} + k_я I_{ааф} \pm k_я I_{ицн}$. Сигнал с ЯБН, с одной стороны, по парасимпатическим нервным путям поступает на сердце ($I_{эбi}$) и в частности на клетки синусового узла (СУ) и атриовентрикулярного узла (АУ), а с другой — на мышцы сосудов, связанные с фазической системой. Таким образом, на сосуды с мышечным слоем одновременно подходят тоническая и фазическая импульсация в виде сигналов $I_{ст}$ и $I_{пф}$ соответственно на тонические (ТМВ) и фазические (ФМВ) мышечные волокна. На эту особенность указывали и другие авторы [8]. «Каждая мышца, — пишет А. Гидиков, — как правило, иннервируется как тоническими, так и физическими мотонейронами» [8, с. 366]. Роль сигнала $I_{эбi}$ при возрастании dP_a/dt направлена на уменьшение афферентных внутрисердечных сигналов в СУ и АУ за счет повышения или понижения уровня концентрации ацетилхолина. В конечном итоге производительность сердца понижается и давление в АРЗ уменьшается. Понятно, что колебания по интенсивности сигнала $I_{эбi}$ сопровождаются адекватным колебанием усиления или понижения сердечной деятельности. Причем эти колебания зависят только от величины сигнала $I_{эбi}$, в то время как отдельные исследователи ошибочно (с нашей точки зрения) допускают наличие двух видов парасимпатических волокон в блуждающем нерве.

Представляет интерес, с точки зрения регуляции, взаимосвязь между тоническими и фазическими волокнами, конвергирующими одновременно на мышечную систему сосудов. Принято считать, что между ними существуют реципрокные взаимоотношения. В действительности же дело обстоит, видимо, иначе. Автор допускает, что действия тонической (симпатической) и фазической (парасимпатической) систем взаимосвязаны между собой. Тоническая система, импульсация которой направлена преимущественно на растяжение тонических мышечных волокон, а вместе с ними и фазических волокон, фактически регулирует динамический диапазон фазической системы, импульсация которой направлена, в основном, на сокращение мышечных волокон. Понятно, что чем сильнее растянуты мышечные волокна, тем большая будет амплитуда сокращения фазических мышечных волокон. Функционально эту зависимость можно представить так:

$$\Delta d_{ci} = k d_{pi}.$$

Здесь Δd_{ci} и d_{pi} — соответственно амплитуда сокращения и растяжения фазических и тонических мышечных волокон.

Логично предположить, что тоническая система ответственна за вазоконстрикцию сосудов, а фазическая, наоборот,— за вазодилятацию. Надо полагать, что исходный тонус ЯБН и других ядер фазической системы создается своей группой клеток ретикулярной формации (ФРФ), отличающейся фазической формой генерации нервных импульсов. Однако в ФРФ (в отличие от ТРФ) имеет место, видимо, более строгая дифференциация между группами клеток РФ.

Контур III связан с измерительным элементом, роль которого выполняют хеморецепторы (ХР). Здесь возможны два пути регуляции: нервнопроводниковый и гуморальный. При первом варианте следует допустить наличие трансформации на уровне ХР химического агента (ХА), контроль уровня концентрации в системе кровообращения которого осуществляется в нервные импульсы. Регуляция же последних может рассматриваться далее в рамках нервнопроводникового контура. Понятно, что афферентный сигнал I_{ax} с ХР должен замыкаться на своем эффекторном звене, роль которого должна быть направлена на поддержание гомеостатического уровня концентрации ХА. В то же время регуляция этого уровня может осуществляться и в результате изменения скорости кровотока и циркулирующего в СК объема крови. Если это так, то I_{ax} должен замыкаться, как и сигналы I_{aat}, $I_{aaф}$ на ЯБН, а возможно, и на ТРФ, изменяя соответственно вазоконстрикцию сосудов и сердечной деятельности. Иначе говоря, для него эффекторными звеньями могут служить те же мышцы сосудов и сердца, что и для сигналом I_{aat}, $I_{aaф}$.

Можно предположить, что аналогичное рассмотренным выше трем контурам регуляции, связанным с АРЗ, явление имеет ме-

сто и у КС, с разницей лишь в том, что пороги регулирования dP_a и dP_a/dt у них разные. Если в АРЗ они достаточно грубы, то в КС, наоборот, пороговая чувствительность рецепторов выше. Данное явление можно объяснить как конструктивным размещением этих РЗ, так и их функциональным назначением. КС предназначены для обеспечения высокой стабильности мозгового кровообращения, наиболее ответственной системы кровообращения во всей С-С. Поэтому $S_п$ рецепторов КС настроена на более тонкие перепады dP_a и dP_a/dt, нежели в АРЗ. Более того, значение $S_п$ рецепторов последующих РЗ, размещенных по С-С от АРЗ и КС далее (ближе к МС) также постепенно повышается, а их контроль настроен на все меньшие значения dP_a и dP_a/dt. Именно в этом и состоит принцип многоуровневой системы регуляции ЦСК и целесообразность морфологического размещения РЗ по всей С-С. Физиологический же смысл такой схемы регуляции ЦСК направлен в конечном итоге (путем последовательной регуляции с постепенным повышением $S_п$) на обеспечение стабильного и равномерного кровотока в МС, на предохранение тонкой МС кровообращения от возможных катастрофических нарушений. При наличии такой многоуровневой схемы регуляции ЦСК естественно предположить наличие РЗ практически у каждого органа и, в частности, его системы кровообращения. Афферентный же сигнал с этих периферийных рефлекторных зон замыкается, видимо, на ганглеонарных узлах в рамках МРД. Контроль же этих МРД осуществляется со стороны центральных отделов вегетативной нервной системы (рисунок).

Контуры регуляции IV—VII связаны с организацией ритма работы камер сердца в рамках обычных местных рефлекторных дуг. При этом роль СУ и АУ в каждом из этих контуров регуляции, по-видимому, идентична, с разницей лишь в том, что СУ связан преимущественно с предсердиями, а АУ — с желудочками. Тем более анатомически установлена нервно-проводниковая взаимосвязь между АУ и СУ с ПЯБН и ЛЯБН в виде схемы, представленной на рисунке. Задача состоит в том, чтобы раскрыть физиологический смысл такой связи и ее роли в регуляции С-С. Кроме того, АУ из-за своей функциональной особенности отличается от СУ проводимостью нервного сигнала. Сам же принцип регуляции этих контуров подробно был описан нами ранее (в сообщении 1). Здесь же они рассматриваются во взаимосвязи с регуляцией ЦСК.

Контуры регуляции VIII—XI связаны с барорецепторами левого (БРПЛ) и правого предсердий (БРПП) и желудочков (БРЖЛ и БРЖП), а также с контурами регуляции IV—VII и выполняют в С-С и, в частности, ЦСК функцию обратной отрицательной связи с целью предохранения внутрисердечных контуров регуляции IV—VII от режима перерегуляции.

Поясним их роль на примере контура регуляции VIII. Здесь часть афферентного сигнала $I_{ап}$ с БРП по афферентным волок-

нам блуждающего нерва поступает в ЯБН и в соответствии с формулой $I_{эбi} = I_{эбо} + k_я I_{апi}$ изменяет интенсивность эфферентного сигнала $I_{эбi}$, поступающего на СУ и АУ сердца по парасимпатическим волокнам. Причем, сигнал $I_{эбо}$, модулируемый сигналом $I_{ап}$, генерируется определенной группой клеток ретикулярной формации (ФРФ), с помощью которых создается исходная величина обратной отрицательной связи через СУ и АУ на контуры регуляции IV—VII. По-видимому, суточная и сезонная ритмика обратной отрицательной связи проявляется именно через колебание сигнала $I_{эбо}$, промодулированного сигналом $I_{ап}$, т. е. через сигнал $I_{эбi}$. При увеличении $I_{ап}$ в соответствии с формулой возрастает сигнал $I_{эбi}$ и, как следствие, в СУ и АУ повышается уровень концентрации ацетилхолина ($A_ц$), пропорционально которому уменьшаются эфферентные сигналы контуров регуляции IV—VII, а вместе с ними изменяется режим работы сердца, т. е. $A_ц = kI_{эбi}$.

Таким образом, контуры регуляции VIII—XI можно назвать корректирующими контурами, изменяющими режим работы основных контуров регуляции, формирующих ритм сердца. Кроме того, известно, что анатомическая связь контуров VIII—XI осуществляется с правым и левым ядрами блуждающих нервов, эфферентные сигналы от которых непропорционально распределены на СУ и АУ. Подобная анатомическая схема связи несомненно имеет свою функциональную значимость. Так, установлено, что ПЯБН преимущественно связано с предсердиями, а ЛЯБН — с желудочками. Причем, сигналы с ПЯБН уменьшают силу сокращения сердца, а с ЛЯБН — понижают скорость проведения возбуждения в сердце.

Попытаемся схематично представить изменение силы сокращения сердца в сторону ее уменьшения в рамках рассмотренных выше контуров регуляции и ее связь с регуляцией ЦСК. Исходя из регуляции контуров IV—VII, по-видимому, необходимо прежде всего уменьшить величину афферентного сигнала $I_{аж}$ с БРЖ, который, в свою очередь, зависит от величины объема крови $\Delta V_п$, выбрасываемого из камеры предсердия в камеру желудочка, т. е. $I_{аж} = k\Delta V_п$. Для уменьшения же $\Delta V_п$ необходимо уменьшить афферентный сигнал $I_{ап}$ с БРП и понизить напор кровотока ($V_к$) из легких в камеру предсердия. Уменьшение $I_{ап}$ возможно путем повышения уровня концентрации $A_ц$ в СУ, а понижение $V_к$ — изменением степени вазоконстрикции сосудов.

Логично предположить, что для уменьшения силы сокращения сердца должен возрастать сигнал $I_{эбi}$, поступающий с ЯБНП преимущественно на СУ, чтобы уменьшить $\Delta V_п$ и, как следствие, сигналы $I_{аж}$ и $I_{эж}$, а вместе с ними силу сокращения сердца. Кроме того, с уменьшением $I_{ап}$ возрастает временной интервал в формировании $\Delta V_п$. В этом случае временной интервал между сокращениями желудочка также должен возрасти. Вот почему с ПЯБН при преимущественном распределении нервных

путей на СУ часть их поступает на АУ. По-видимому, эфферентные пути контуров регуляции VIII—XI являются общими и для команд, поступающих на ЯБН из коры (К), и ее зоны, ответственной за интеративную деятельность мозга (ИЦМ). Причем, уровень концентрации $A_ц$ в СУ и АУ определяется величиной интегрального сигнала $I_{эбi}$, т. е. $A_ц = kI_{эбi} = k(I_{эбо} + I_{апi} + I_{ицнi})$.

Понятно, что в соответствии с этой формулой понижение и повышение активности сердца регулируется по одним и тем же эфферентным парасимпатическим волокнам, направляющимся от ЯБН к СУ и АУ. Возможно, что сигнал $I_{ицм}$ одновременно поступает непосредственно на большую часть дифференцированных групп клеток РФ, вызывая модуляцию сигналов $I_{эбо}$, а через них — адекватную реакцию на эффекторных органах, связанных с ними. Именно всеобщая мобилизация функциональных систем (ФС) организма возможна скорее всего через РФ.

Описанная выше схема регуляции сердца со стороны ЯБН позволяет представить действие сигналов, поступающих с РЗ ЦСК на ЯБН, и их влияние на изменение режима регуляции сердца, а вместе с ним и ЦСК. Тем более, с ряда РЗ их афферентные сигналы связаны с ЯБН, где они усиливаются и далее в соответствии со своими анатомическими связями поступают либо на СУ и АУ сердца, либо на мышцы сосудов С-С (рисунок).

Кроме того, часть афферентного сигнала $I_{ап}$ с БРП рефлексогенной зоны сердца поступает также в продолговатый и спинной мозг, вызывая изменение активирующей функции ТРФ, ориентированной преимущественно на сосуды С-С. В соответствии с этим сигналом, адекватно отражающим режим работы сердца на текущий момент, изменяется активирующая функция участков РФ, ответственных за формирование их мышечного тонуса. Через сигнал $I_{ап}$ как бы задается режим работы отдельным зонам С-С, адекватный режиму работы сердца на данный момент. Более того, афферентацию с БРП, замыкающуюся на ТРФ, можно рассматривать как источник непрерывной (в течение жизни человека) стимуляции, поддерживающей генерирующую функцию ее клеток. Более подробно вопрос взаимодействия афферентации с рефлексогенных зон сердца с РФ будет рассмотрен нами в следующем сообщении.

Мы рассмотрели механизмы регуляции артериальной СК. Однако регуляция ЦСК определяется не только артериальной, но и венозной системой. В литературе [9] существуют разные точки зрения о регуляции систем низкого (венозного) и высокого (артериального) давлений. Не должно, видимо, вызывать сомнение, что в венозной системе также имеются свои рефлексогенные зоны. Одна из них (ВРЗ) должна размещаться, по аналогии с АРЗ, на выходе кровотока из правого желудочка. В этом случае афферентный сигнал $I_{ав}$ с барорецепторов (БРВ)

ВРЗ должен быть адекватным сигналу $I_{аа}$ и замыкаться на ЯБН, вызывая эффекты, аналогичные сигналу $I_{аа}$, но в рамках контура регуляции венозной системы. Не исключено, что эфферентные сигналы РЗ венозной системы связаны со своими группами клеток ЯБН, а возможно и отдельными самостоятельными ядрами.

Контур XII регуляции связан с гипоталамо-гипофизарной системой (ГГС). Тоническая активирующая подсистема этого контура связана с ТРФ и РФ гипоталамуса (РФГ). Здесь активирующий сигнал распространяется по двум путям, один из которых ориентирован на нейрогипофиз (НГ), а другой — на аденогипофиз (АДЗ). Фазическая подсистема имеет, видимо, более короткий путь воздействия на основное звено ГГС — кору надпочечников (КН) и ее мозговой слой (МСКН). Роль этой подсистемы проявляется при мобилизации и стрессовых ситуациях. В этом случае под влиянием сигнала $I_{ицм}$ действующего, возможно, через чревный нерв (ЧН) непосредственно на МСКН, в СК выбрасываются повышенные порции адреналина (А) и норадреналина (НА). Под воздействием А, выполняющего роль «горючего» для РФ, последняя включается в режим повышенной генерации своих активирующих сигналов и прежде всего $I_{ст}$, вызывающего в генерализованной форме повышенную вазоконстрикцию сосудов, в том числе и венозных ЦСК с мышечным слоем. А это, в свою очередь, приводит к усилению кровотока и возрастанию объема циркулирующей крови в СК.

Понятно, что в данной ситуации необходимо одновременно повысить сократимость миокарда сердца и резистивность микроциркулярной системы (МС), особенно той ее части, регуляция которой осуществляется гуморальным путем, в частности, ее прекапиллярный отдел (ПО). С этой целью в СК под действием $I_{ицм}$, поступающего на нейрогипофиз (НГ), выбрасывается гормон вазопрессин, который там в виде излишков депонируется для стрессовых ситуаций и с помощью которого обеспечивается повышенная вазоконстрикция сосудов (МС). Одновременно выбрасывается также гормон окситоцин (О) и другие, с помощью которых обеспечивается повышенный режим работы систем, ответственных за метаболизмы и эвакуацию шлаков из организма.

С возрастанием активности РФ повышается активирующий сигнал $I_{рг}$ с РФ гипоталамуса. Под его действием осуществляется непрерывная генерация нейросекрета, поступающего к НГ по гипофизарному пучку (ГП), и релизинг-гормонов, направляющихся к АДЗ через портальную сосудистую систему (ПСС), нейросекреторными клетками (НСК) гипоталамуса, тогда как стрессовые порции гормонов НГ (а возможно и АДЗ) выбрасываются в СК под действием сигнала $I_{ицм}$, поступающего по нервно-проводниковому пути в НГ и АДЗ. Получается, что вазо-

констрикция сосудов венозной и артериальной систем осуществляется одновременно и из одного и того же центра.

Логично предположить, что роль такого центра должен выполнять бульварный сосудодвигательный центр (ЦОС) или БЦ. Последний мы представляем в виде дифференцированных групп клеток ретикулярной формации (РФ), сопряженных со своими ядрами (ЯБЦ). Более того, можно предположить, что афферентные сигналы с РЗ, в том числе КС, АРЗ и других замыкаются прежде всего на ядрах бульварного центра (ЯБЦ). Однако сами ЯБЦ находятся под активирующим влиянием своих групп клеток РФ и выполняют одновременно роль усилительных устройств слабых по энергетическому потенциалу сигналов групп клеток РФ. Кроме того, ряд других групп клеток РФ ЦОС через свои ядра (преимущественно ядра черепно-мозговых нервов (ЯЧМН) VII, IX и X пар) активирующую функцию распространяют на те бассейны ЦСК, которые иннервируются указанными выше нервами. В таком случае сигнал $I_{ицм}$ одновременно должен конвергировать, особенно при стрессе, практически на все группы клеток РФ ЦОС.

Список литературы: 1. *Гедеванишвили И. Д.* Периферическое кровообращение и особенность его регуляции.— М.: Медицина, 1976.— 146 с. 2. *Черниговский В. Н.* Интероцепторы.— М.: Медгиз, 1960.— 659 с. 3. *Heymans.* Amer. J. Physiol, 1929, 90, 2, p. 387—388. 4. *Кулаев Б. С.* Рефлексогенные зоны сердца и саморегуляция кровообращения.—М.: Наука, 1972.— 260 с. 5. *Ананин В. Ф.* Модель регуляции сердечно-сосудистой системы человека. О механизме регуляции сердца человека. *Сообщение 1.*— Проблемы бионики, 1981, вып. 27, с. 93—103. 6. *Вальдман А. В., Ковалев Г. В.* О фрагментарной морфо-функциональной организации бульварного вазомоторного центра (БВМЦ)— Бюл. эксперим. биол. и медиц., 1970, № 4, с. 15—20. 7. *Косицкий Г. И.* Афферентные системы сердца.— М.: Медицина, 1975.— 207 с. 8 *Оганесян А. А.* Проводящие пути спинного мозга и их взаимозаменяемость. Моторные тракты.— М.: Наука, 1979.— 177 с. 9. *Ткаченко Б. И., Савельев А. К.* Соотношение центральных и периферических механизмов в регуляции емкостных сосудов.— Физиол. журн. СССР, 1978, № 5, с. 606—617

Поступила в редколлегию 18.09.81.

УДК 15.07+154.4

Н. И. ЛЕБЕДЕВА, канд. психол. наук

СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ МЫСЛИТЕЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ

В современных условиях интенсивного развития техники и производства значительно возросла роль мыслительных компонентов в профессиональной деятельности человека. Поэтому особую актуальность приобретают исследования многообразных проблем психологии мышления. Среди них одно из центральных мест занимают исследования стратегий решения мыслительных задач.

Результаты работ, проводимых в данном направлении, нар
ду с большой теоретической значимостью имеют и широки
круг практических приложений. В частности, достижения стр
тегиального подхода непосредственно связаны с разработко
проблемы инженерно-психологического проектирования де
тельности. Известно, что в последние годы эту проблему стал
понимать как проектирование внешних средств деятельност
(средств отображения и ввода информации) и формирован
соответствующих интериоризированных средств — специализ
рованных функциональных систем.

Одним из путей получения исходных сведений для постро
ния средств отображения информации могут быть психолог
ческие эксперименты, позволяющие выявлять и разрабатыва
эффективные стратегии решения задач, подлежащих автомат
зации. Такой подход успешно развивается применительно к пр
ектированию информационных моделей для диалоговых авт
матизированных систем [1]. Важно отметить, что исследовани
стратегий решения целесообразны не только при проектиров
нии, но и при оценке СОИ. В последнем случае представляет
необходимой проверка однотипности стратегий в реальных
экспериментальных условиях, т. е. «при оценке СОИ испыту
мые должны относиться к той же парадигме по стратегии реш
ния, что и операторы реальной АСУ» [2, с. 11].

Проектированию интериоризированных средств деятельн
сти уделяется недостаточное внимание. Вместе с тем в псих
логической литературе имеются экспериментальные данны
свидетельствующие о различиях в стратегиях решения инде
тичных задач даже операторами одной и той же АСУ. Приче
именно от определенной, присущей конкретному операто
стратегии в большой степени зависят значения многих показ
телей успешной деятельности [3, с. 205]. Иными словами, пр
подготовке операторов важное место должно отводиться форм
рованию эффективных стратегий решения профессиональны
мыслительных задач. В данном контексте не вызывает сомн
ния серьезная практическая значимость исследований тех аспе
тов стратегиального подхода, которые имеют непосредственны
выход в разработку тренажеров и собственно организацию пр
фессиональной подготовки.

Есть основания полагать, что наибольший интерес для ра
вития указанных областей практики представляет анализ фа
торов, с помощью которых можно управлять процессом акт
ального становления эффективных стратегий. Представляетс
что направленное влияние на этот процесс в условиях индив
дуальной деятельности могут оказать три группы средств. Пе
вая, по нашему мнению, связана с варьированием требован
к внешним показателям деятельности (например, к скорост
и точности). Экспериментальные подтверждения правомерно
высказанного предположения в литературе отсутствуют. К

венным же свидетельством в его пользу служат данные о развитии интуитивных компонентов мышления в условиях дефицита времени [4]. Следовательно, введение временных ограничений на определенных стадиях становления стратегий может оказаться целесообразным.

Во вторую группу включаются средства, имеющие отношение к содержанию, организации и структуре дополнительной управляющей информации (ДУИ). Ее положительная роль для стратегий решения выявлена в ряде советских и зарубежных исследований. Однако условия предъявления ДУИ сами представляют систему взаимосвязанных факторов, парциальное и совместное влияние которых фактически не выяснено.

В силу этого нами предпринят специальный анализ становления стратегий решения при различных условиях предъявления ДУИ в форме подсказки. В качестве удобной экспериментальной модели для проведения исследований были выбраны игровые задачи с наглядно-образной и символической информацией. Наш выбор обусловлен следующими соображениями. Во-первых, игры являются адекватными моделями многих реальных ситуаций. Во-вторых, форма представления информации (наглядная или абстрактная) может оказать влияние на формирование и реализацию стратегий. Профессиональная деятельность по принятию решений осуществляется с опорой на наглядные формы представления ситуаций, а также с учетом символической информации о параметрах объектов преобразования.

Результаты экспериментов [5—7] показали, что наиболее существенное влияние оказывает тип подсказки и фаза эксперимента, на которой она предъявляется. Установлено, что подсказка, навязанная субъекту, является более эффективной, чем предъявляемая по его желанию. Доказано также, что ассимиляция информации, содержащейся в подсказке, протекает более успешно на достаточно продвинутых стадиях собственного анализа задачи человеком. С возрастанием трудности задач достоверным становится не только парциальное влияние отдельных факторов, но и совместное влияние их взаимодействий. В целом разработанная система подсказок предполагает их предъявление после предварительного самостоятельного анализа задач и каждого шага решения с ограниченной возможностью их использования непосредственно на данном шаге. Действенность приведенной системы подсказок проявилась не только в игровой, но и в профессиональной деятельности. Посредством ее оказывалось более позитивное воздействие на процесс формирования оптимальной стратегии решения диспетчерских задач по управлению воздушным движением в сравнении с широко распространенной свернутой формой обратной связи.

Последняя группа средств управления связана с порядком предъявления задач, изменяющихся по различным характери-

стикам. Результаты наших экспериментов свидетельствуют о целесообразности варьирования начальных условий задач одного класса. В этом случае наблюдается выработка стратегии более высокого уровня обобщенности. Причем сложность начальных условий не должна прямо возрастать от задачи к задаче. Весьма полезным является периодическое предъявление («вкрапление») простых задач, которые начинают тогда играть роль вспомогательных.

Кроме того, успешность формирования эффективных стратегий для определенного класса задач оказывается чувствительной и к задачам других классов. В этой связи следует обратить внимание на игровой подход к профессиональной подготовке операторов. Он базируется на предположении об иерархии формальной системы, ее предметной интерпретации и погружении в среду как трех уровнях функционирования интеллекта, а также на предположении о наличии универсальных механизмов решения задач [8]. Данный подход экспериментально обоснован. В наших исследованиях доказано, что предварительное формирование оптимальной стратегии решения игровых задач с помощью подсказок положительно влияет на последующее формирование оптимальной стратегии решения задач, близких к реальным. Указанные результаты первоначально были получены в лабораторных условиях, моделирующих деятельность авиадиспетчера. В дальнейшем эти результаты экспериментально подтверждены на судоводительском тренажере «Solartron».

Использование игровых моделей позволило значительно повысить эффективность решения профессиональных типовых задач, связанных с выбором маневра по расхождению с несколькими судами. Испытуемые контрольной группы при решении задач на тренажере нарушили дистанцию опасной зоны в 30,25 % случаев и допустили столкновение судов в 22,2 % случаев. У испытуемых, прошедших игровую подготовку, эти показатели — 10,7 и 3,8 % соответственно, т. е. процент грубых нарушений снизился в экспериментальной группе почти в 2,5 раза, а процент аварий — более, чем в 6 раз.

На основе полученных результатов можно утверждать, что специально организованная игровая деятельность выступает в качестве одного из средств формирования обобщенных способов анализа и преобразования сложных ситуаций. Хорошо известный в психологии мышления механизм переноса предстает здесь как опредмечивание формальных систем, выработанных в игровой деятельности. Этот механизм оказывается дополнительным резервом профессионального развития. Таким образом, целесообразно использовать специально подобранные игры в процессе подготовки к деятельности, связанной с принятием решений на мыслительном уровне. Применение игровых задач на этапе предварительных абстрактных тренировок

может сократить время использования дорогостоящих имитаторов.

В заключение еще раз отметим, что средства управления, анализ которых представлен выше, были выделены применительно к формированию мыслительных стратегий в условиях индивидуальной деятельности. Вместе с тем в настоящее время все большую значимость приобретает поиск средств управления актуальным генезом и групповых стратегий решения. Этот вопрос, очевидно, требует самостоятельного обсуждения, выходящего за рамки данной статьи. Укажем только, что в условиях совместной деятельности, наряду с уже рассмотренными средствами управления, необходимо использовать и специфические. С нашей точки зрения, к ним могут быть отнесены взаимопереходы от индивидуального решения к совместному и обратно, изменения структуры и организации группы, а также варьирование операционных процедур, форм, способов и средств общения в группе.

Список литературы: 1. *Бондаровская В. М., Горовая Р. В., Бозоявленская Д. Б.* Об одном подходе к проектированию информационной модели диалоговой автоматизированной системы.— Проблемы инженерной психологии, 1979, вып. 1, с. 76—78. 2. *Венда В. Ф.* К вопросу об истории и методологии инженерной психологии.— Проблемы инженерной психологии, 1979, вып. 1, с. 7—11. 3. *Parsons H. M.* Manmachine system experiments.— Baltimore: Iohns Hopkins Univ. Press, 1972.— 633 p. 4. *Завалишина Д. Н.* Интуиция и формирование обобщенных способов решения задач.— Вопросы психологии, 1979, № 2, с. 109—116. 5. *Лебедева Н. М.* Влияние дополнительной информации на формирование стратегий решения.— Проблемы инженерной психологии, 1979, вып. 2, с. 63—64. 6. *Нафтульев А. И., Лебедева Н. М.* Изучение процесса формирования стратегий решения задач при наглядно-образной форме представления ситуации.— Практикум по инженерной психологии, 1978, с. 85—96. 7. *Нафтульев А. И., Лебедева Н. М.* Изучение процесса формирования стратегии решения задач при абстрактной форме представления ситуации.— Практикум по инженерной психологии, 1978, с. 97—102. 8. *Нафтульев А. И., Парачев А. М.* Практический интеллект и пути его формирования.— В кн.: VII Всесоюз. совещание по проблемам управления: Тез. докл. Кн. I. М.—Минск, 1977, с. 265—266.

Поступила в редколлегию 29.03.82.

УДК 65.011.56

И. Е. ФРОЛОВА, И. Г. ЛИБЕРГ

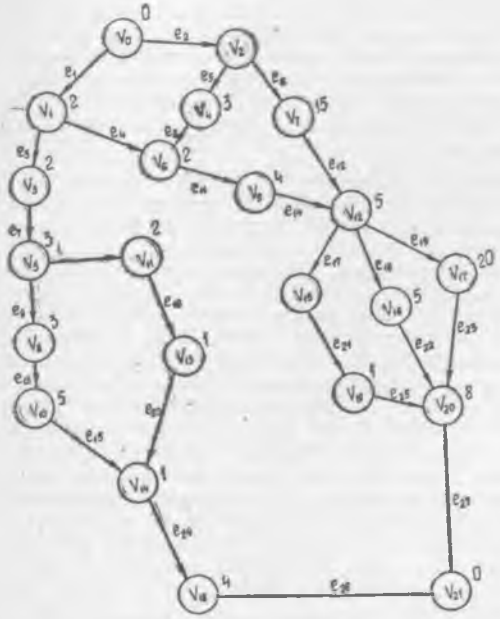
К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрим алгоритмы оптимизации тестов диагностирования вычислительной системы, представленной ориентированным графом [1]. На основе этих алгоритмов создается однородная структурная модель системы, которую можно использовать для диагностирования ее блоков на различных уровнях описания. Разработанная модель предполагает отсутствие маскирования дефектов в системе.

Дискретная система может быть описана на уровне функционального представления ее вход-выходными идентификаторами. Однако цель проектирования системы — построение ее структуры (связи между элементами и потоки данных). Построение системы можно представить как наложение функциональных характеристик ее элементов на структуру системы, поскольк-

ку структура системы представляется соединением ее функциональных элементов. С точки зрения анализа дефектов функциональные элементы могут представлять возможные дефектные компоненты.

Любая дискретная система изоморфна ориентированному графу, вершины которого представляют собой функциональные блоки или элементы, а направление дуги — линии распространения сигналов.



Так как анализировать всю систему зачастую бывает сложно, будем рассматривать структуру соединений и прохождение данных через систему перед ее функциональным описанием.

Структурная модель вычислительной системы может быть представлена направленным графом, который методами, описанными в [2], преобразуется в редуцированный граф G.

Он имеет исток и сток и множество дуг, направленных от истока к стоку. Пусть $E = \{e_1 \ldots e_m\}$ — множество дуг; $V = \{V_1 \ldots V_n\}$ — множество всех вершин в G.

Метод диагностирования системы по ее структурной модели основан на критериях покрытия и различимости путей распространения сигналов или путей тестирования элементов системы.

Предположим, что в редуцированном графе G имеется r чувствительных путей. Построим матрицу путей N_x, где n_{pg} — элемент p-й строки и g-го столбца; тогда $n_{pg} = 1$, если V_g принадлежит пути P_p, в противном случае $n_{pg} = 0$.

В структурной модели вершина соответствует неисправному элементу системы, а путь — тесту, проверяющему этот неисправный элемент. Таким образом, матрица путей изоморфна соответствующей таблице неисправностей.

Пусть задана система (представим ее в виде редуцированного графа G, рисунок). Необходимо найти оптимальное множество тестов, которые активизируют чувствительные пути так, что покрытие неисправностей является полным, а различи-

мость — максимальной. Для любых путей тестовые наборы прикладываются только к первичным входам системы, а реакция наблюдается только на ее выходах. На практике чувствительные пути могут определяться множеством блокируемых вентилей.

Найдем в заданном графе все возможные одномерные чувствительные пути $X(P)$, затем определим оптимальное множество проверяющих тестовых путей $P_{пд} \subseteq X(P)$ и множество чувствительных путей $P_{лок} \subseteq X(P)$ для поиска неисправностей.

В работе [3] доказана следующая теорема.

Теорема 1. *Все вершины в графе G можно перенумеровать так, чтобы не существовало пути из* V_r *к* V_s, *если* $r > s$.

Для нахождения $X(P)$ необходимо знать функцию генерирования пути $F(P)$, которую можно получить следующим способом

Шаг 1. Пусть $F(P)_0 = V_1 = V_i$.

Шаг k. Для нахождения $F(P)_k$ все V_s в $F(P)_{k-1}$ подставляются в выражение вида $V_s \sum_{\forall V_t \in S(V_s)} V_t$.

Алгоритм заканчивается на шаге n. Так как $F(P) = F(P)_n$, то можно преобразовать $F(p)$ в форму суммы произведений. Каждая последовательность вершин представляет собой одномерный чувствительный путь, если имеется соответствующее произведение в $F(P)$. Таким образом можно найти $X(P)$ и N_x,

Теорема 2. *В редуцированном графе G последовательность вершин* $P_s = (V_{s1} \ldots V_{s_n})$ *является одномерным чувствительным путем, т. е.* $P_s \in X(P)$ *тогда и только тогда, когда произведение этих вершин* $P_s = V_{s1}\, V_{s_i} \ldots V_{s_m}$ *является термом* $F(P)$.

Доказательство На шаге 1 $F(P_1) = V_i (V_{i_1} + V_{i_2} + \ldots V_{in}) = V_i\, V_{i1} + V_i\, V_{i2} + \ldots$, где $S(V_i) = \{V_{i_1}, V_{i_2} \ldots\}$. Таким образом, все последовательности вершин начинаются с начальной вершины V_i.

Предположим, что все термы в $F(P)_{k-1}$ — последовательности вершин. Для нахождения $F(P)_k$ необходимо добавить вершину $V_{p(m+1)}$ к последовательности $(V_{p_1}, \ldots V_{pm})$, принадлежащей $F(P)_{k-1}$, если $V_{p(m+1)} \in S(V_{pn})$. Таким образом, все термы в $F(P)_k$ также последовательности вершин. G является редуцированным графом, поэтому не может быть последовательности вершин больше n и существует только одна выходная вершина. Следовательно, все последовательности вершин должны заканчиваться V_i и все последовательности вершин в $F(P)$ являются одномерными чувствительными путями.

Пусть $P_u = (V_{u_1} \ldots V_{u_2})$ —одномерный чувствительный путь в G, т. е. $V_{u_1} = V_i$, $V_{u2} = V_j$ и $V_{u(g+1)} \in S(V_{ug})\ \forall (V_{ug}) \in P_u$. Так как $V_{u_1} \in S(V_{u_1})$, то V_{u_1}, V_{u_2} есть в $F(P_1)$. Предположим, что V_{u_1}, $V_{u_2} \ldots V_{u(t-1)}$ есть в $F(P)_{(k-1)}$. Так как $V_{ut} \in S(V_{u(t-1)})$, то V_{u_1}, $V_{u2} \ldots V_{ut}$ есть в $F(P)_k$. Когда $t = r$, то произведение V_{u_1}, $V_{u_2} \ldots V_{ur}$,

есть в $F(P)$. Таким образом, любой одномерный чувствительный путь соответствует терму произведения в $F(P)$, что и требовалось доказать.

Пример. Применяя рассмотренный выше алгоритм к графу (рисунок), получаем $F(P) = V_0(V_1(V_3V_5(V_8V_{10}V_{14}V_{18}V_{21} + V_{11}V_{13}V_{14}V_{18}V_{21} + V_8V_9V_{12}(V_{15}V_{19}V_{20}V_{21} + V_{16}V_{20}V_{21} + V_{17}V_{20}V_{21})) + V_2(V_4V_6V_9V_{12}(V_{15}V_{19}V_{20}V_{21} + V_{16}V_{20}V_{21} + V_{17}V_{20}V_{21}) + V_7V_{12}(V_{15}V_{19}V_{20}V_{21} + V_{16}V_{20}V_{21} + V_{17}V_{20}V_{21}))) = V_0V_1V_3V_5V_8V_{10}V_{14}V_{18}V_{21} + V_0V_1V_3V_5V_{11}V_{13}V_{14}V_{18}V_{21} + V_0V_1V_6V_9V_{12}V_{15}V_{19}V_{21} + V_0V_1V_6V_9V_{12}V_{16}V_{20}V_{21} + V_0V_1V_6V_9V_{12}V_{17}V_{20}V_{21} + V_0V_2V_4V_6V_9V_{12}V_{15}V_{19}V_{20}V_{21} + V_0V_2V_4V_6V_9V_{12}V_{16}V_{20}V_{21} + V_0V_2V_4V_6V_9V_{12}V_{17}V_{20}V_{21} + V_0V_2V_7V_{12}V_{15}V_{19}V_{20}V_{21} + V_0V_2V_7V_{12}V_{16}V_{20}V_{21} + V_0V_2V_7V_{12}V_{17}V_{20}V_{21}$.

Итак, $X(P)$ содержит одиннадцать одномерных чувствительных путей, что соответствует термам произведения в $F(P)$. Матрицу путей N_x можно представить следующим образом:

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}	V_{16}	V_{17}	V_{18}	V_{19}	V_{20}	V_{21}
P_1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
P_2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
P_3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
P_4	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1
P_5	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1
P_6	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
P_7	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
P_8	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
P_9	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
P_{10}	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
P_{11}	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1

Так как матрица путей изоморфна таблице функции неисправностей, то редуцированную матрицу R_x можно получить, используя некоторые правила уменьшения покрытия заданного класса неисправностей, проверяющим тестом. В матрице N_x вычеркиваем все столбцы, соответствующие поглощенным неисправностям, и все строки, соответствующие поглощенным тестовым путям.

На основании критерия покрытия [2] локально-оптимальное множество чувствительных одномерных путей для обнаружения неисправностей получается таким: $P_{\text{обн.}x} = \{P_1, P_2, P_4, P_8, P_9\}$.

Редуцированная матрица R_x будет иметь следующий вид:

	V_4	V_7	V_8	V_{11}	V_{15}	V_{16}	V_{17}
P_1	0	0	1	0	0	0	0
P_2	0	0	0	1	0	0	0
P_3	0	0	0	0	1	0	0
P_4	1	0	0	0	1	0	0
P_5	0	1	0	0	1	0	0
P_6	0	0	0	0	0	1	0
P_7	1	0	0	0	0	1	0
P_8	0	1	0	0	0	1	0
P_9	0	0	0	0	0	0	1
P_{10}	1	0	0	0	0	0	1
P_{11}	0	1	0	0	0	0	1

Разбиение одиночных неисправностей на подмножество неразличимых одиночных неисправностей назовем $Д$. Наибольшая часть $Д$-разбиения является мерой максимальной различимости, полученной для одиночных неисправностей. Для получения большей глубины поиска неисправностей наибольшее множество неразличимых неисправностей должно быть как можно меньшим.

Справедливы и очевидны следующие теоремы.

Теорема 3. *Если* $\eta_1(T) = m$, *то* $Д$-*разбиение имеет не более* 2^m *блоков, где* $\eta_1(T)$ — *число тестовых наборов.*

Теорема 4. *Если* $\eta_1(F) = n$, *то для различимости всех одиночных неисправностей должно выполняться условие* $\eta_1(T_L) \geqslant \log_2 n$.

Таким образом, для нашего примера $Д$-разбиение вершин можно получить путем сравнения столбцов матрицы N_x в виде

$$Д_x = \{\overline{V_0V_{21}};\ \overline{V_1};\ \overline{V_2};\ \overline{V_3\ V_5\ V_{14}\ V_{13}};\ \overline{V_4};\ \overline{V_6V_9};\ \overline{V_7};\ \overline{V_8V_{10}};\ \overline{V_{11}V_{13}};\ \overline{V_{12}V_{20}};\ \overline{V_{15}};\ \overline{V_{19}};\ \overline{V_{16}};\ \overline{V_{17}}\}$$

Используя критерий различимости, локально-оптимальное множество одномерных чувствительных путей для процедуры поиска неисправностей можно получить в виде $P_{лок.\,x} = \{P_2,\ P_3,\ P_6,\ P_5,\ P_4,\ P_1\}$.

Исходя из $Д$-разбиения, построим редуцированную матрицу Q_x:

	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_6	V_7	V_8	V_{11}	V_{12}	V_{15}	V_{16}	V_{17}
P_1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P_2	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P_3	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
P_4	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
P_5	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
P_6	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
P_7	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
P_8	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
P_9	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
P_{10}	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
P_{11}	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Множество всех одномерных чувствительных путей $X_{(P)}$ может генерироваться множеством блокированных вентилей. Блокированный вентиль запрещает прохождение сигнала через дугу, связанную с ним. В дальнейшем предполагается, что блокированный вентиль с дугой l_s обладает следующими свойствами. Вентиль управляется внешним сигналом, позволяя маскировать неисправность, которая достигает дуги l_s и генерирует определенный сигнал на вход вершины V_t, входом которой является дуга l_s. Вершина V_t, на которую, кроме блокированной дуги l_s, заходят другие дуги, может принимать и передавать сигналы, поступающие по этим дугам. Таким образом, блокированный вентиль с дугой l_s во время блокирования запрещает передачу любого сигнала от неисправных вентилей. Кроме того, блокированный вентиль запитывает определенным сигналом инцидентную ему вершину V_t так, что сигналы неисправных вентилей, достигшие V_t по другим дугам, могут не передаваться через V_t к конечным вершинам.

После анализа структурных и функциональных свойств системы можно ввести блокированные вентили в соответствующие места системы.

Рассмотрим метод нахождения минимального множества блокированных вентилей B_x для образования $X_{(P)}$. Пусть V_s — любая вершина в редуцированном графе G. Пусть $E(V_s)$ — множество дуг, входящих в V_s, а $E'(V_s)$ — множество выходящих дуг. Кроме того, в графе любая вершина, за исключением V_j может быть одной из трех типов: а) $\eta(E(V_s)) = 1$; б) $\eta(E(V_s)) > 1$ & $\eta(E'(V_s)) = 1$; в) $\eta(E'(V_s)) > 1$ & $\eta(E'(V_s) > 1$.

Пусть V упорядочено в виде $V_1 \ldots V_n$ ($V_1 = V_i$ и $V_n = V_j$) и удовлетворяет теореме 1. Тогда алгоритм получения минимального множества блокируемых вентилей следующий:

Шаг 1. Пусть $B_x = E'(V_1) = E'(V_i)$.

Шаг k. Вершина V_k достигается, если для типа а) $B_x = (B_x - E'(V_k)) \cup E'(V_k)$; для типа б) $B_x = B_x$; для типа в) $B_x = B_x \cup E'(V_k)$. Алгоритм заканчивается на шаге $(n-1)$.

Теорема 5. *Задан редуцированный граф G. Множество блокируемых вентилей B_x, полученное по алгоритму, является минимальным для генерирования всех одномерных путей $X(P)$ в G.*

Доказательство. Можно генерировать $X(P)$, реализуя все вершины графа блокируемыми вентилями. Избыточность появится в тех случаях, когда дуга e_s является только входящей или выходящей дугой вершины. Если есть вершина V_t такая, что $E(V_t) = \{e_s\}$ и $\eta(E'(V_t)) > 1$, то блокирование e_s эквивалентно блокированию всех дуг в $E'(V_t)$. Кроме того, если $E'(V_t) = \{e_s\}$ и $\eta(E(V_t) > 1$, то блокирование e_s эквивалентно блокированию всех дуг в $E(V_t)$. В обоих случаях блокируемый вентиль на e_s избыточен. Если существует вершина V_t такая, что $\eta(E(V_t) = \eta(E'(V_t) = 1$, то один из вентилей на $E(V_t)$ или $E'(V_t)$ избыточен.

За исключением трех рассмотренных случаев все остальные вентили не являются избыточными, что доказывает оптимальность рассмотренного алгоритма.

Применив алгоритм, рассмотренный выше, к графу рисунка находим $B_x = \{e_4 e_8,\ e_{12},\ e_{15},\ e_{20},\ e_{22},\ e_{23},\ e_{25}\}$. Так как одиночные чувствительные пути $X(P) = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_{11}\}$, то матрицу активизации путей можно представить как H_x

	e_4	e_8	e_{12}	e_{15}	e_{20}	e_{22}	e_{23}	e_{25}
P_1	0	0	0	1	0	0	0	0
P_2	0	0	0	0	1	0	0	0
P_3	0	0	0	0	0	0	0	1
P_4	0	1	0	0	0	0	0	1
P_5	0	0	1	0	0	0	0	1
P_6	1	0	0	0	0	1	0	0
P_7	0	1	0	0	0	1	0	0
P_8	0	0	1	0	0	1	0	0
P_9	1	0	0	0	0	0	1	0
P_{10}	0	1	0	0	0	0	1	0
P_{11}	0	0	1	0	0	0	1	0

где элемент $n_{pg} = 0$, если необходимо блокировать g-ю вершину и активизировать p-й чувствительный путь, в противном случае $n_{pg} = 1$.

Матрицу активизации путей для проверки исправности системы можно получить из H_x путем вычеркивания строк, принадлежащих $X(P) — P_{обн.x}$, и вычеркиванием столбцов со всеми единицами.

Так как число одномерных чувствительных путей для обнаружения неисправностей равно $P_{обн.x} = \{P_1, P_2, P_4, P_8, P_9\}$, то матрица активизации путей $H_{обн.x}$ будет иметь следующий вид:

	e_4	e_8	e_{12}	e_{15}	e_{20}	e_{22}	e_{23}	e_{25}
P_1	0	0	0	1	0	0	0	0
P_2	0	0	0	0	1	0	0	0
P_4	0	1	0	0	0	0	0	1
P_8	0	0	1	0	0	1	0	0
P_9	1	0	0	0	0	0	1	0

Минимальное число блокируемых вентилей для обнаружения неисправностей равно множеству всех блокируемых вентилей для локализации неисправностей, так как известно, что число одномерных чувствительных путей для локализации неисправностей $P_{лок.x} = \{P_2, P_3, P_6, P_5, P_4, P_1\}$, то матрицу активизации путей $H_{лок.x}$ можно представить как

	e_4	e_8	e_{12}	e_{15}	e_{20}	e_{22}	e_{23}	e_{25}
P_2	0	0	0	0	1	0	0	0
P_3	1	0	0	0	0	0	0	1
P_6	1	0	0	0	0	1	0	0
P_5	0	0	1	0	0	0	0	1
P_4	0	1	0	0	0	0	0	1
P_1	0	0	0	1	0	0	0	0

Таким образом, использование принципа блокируемых вентилей, разработка алгоритмов поиска минимального их числа и места подключения в системе позволяет организовать тестовое диагностирование микропрограммных систем на больших интегральных схемах.

Список литературы: 1. *Бусленко Н. П.* Моделирование сложных систем.— М.: Наука, 1968.— 215 с. 2. *Mayeda W., Ramamoorthy C.* Distinguishability criteria in oriented graphs and their application to computer diagnosis.— IEEE Trans. on Circuit Theory, 1969, № 11, p. 448—454. 3. *Харри Ф., Палмер Э.* Перечисление графов.— М.: Мир, 1977.— 324 с.

Поступила в редколлегию 08.02.82.

УДК 681.3.61

А. Н. БЕСТУЖЕВА, Н. Н. ЗЫКИНА, В. А. ЮХТЕНКО

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Автоматизация оценки эргатических систем — один из эт пов их автоматизированного проектирования. Подходы к ав матизации определяются теоретическим базисом, лежащим основе анализа и исследования эрготехнических систем (Э Наиболее разработанным и конструктивным является об щенный структурный метод (ОСМ) [1], получивший дальн шее развитие в рамках функционально-структурной теор В варианте ОСМ-75 автоматизация оценки осуществляется тем анализа функциональных структур с помощью ЭВМ [однако полная автоматизация оценки затруднена (случай «н сворачиваемых» структур). В варианте ОСМ-81 значитель расширены средства моделирования ЭС, что повышает ак альность автоматизации оценки ЭС и выдвигает требова использовать новые методы моделирования с применени ЭВМ. Здесь рассматриваются задачи оценки ЭС и предла ется структура системы аналитико-имитационного моделиро ния. Новизна выдвинутых в ОСМ-81 задач определяет пос новочный характер работы.

Задачи анализа и оценки ЭС. ЭС представляется в в совокупности эргатических (человек, коллектив) и неэргати ских (машина, комплекс машин) элементов. В общем случ функционирование ЭС может быть представлено ее движени в пространстве состояний (или ситуаций). Под ситуацией данном случае понимаем совокупность различимых признак состояния эргатических и неэргатических элементов, пред тов и продуктов труда и их отношения. Изменение ситуа происходит в результате выполнения операций эргатически и неэргатическими элементами, а также под воздействием с чайных факторов (ошибки и отказы элементов). Последо тельность операций, приводящая к последовательному изме нию ситуации, является решающей последовательностью, а ответствующая ей последовательность ситуаций — решающ путем [3].

Все множество ситуаций S может быть разбито на подм жества: S_0 — множество начальных ситуаций; $S_ц$ — множество левых ситуаций; $S_т$ — множество ситуаций, в которых ЭС мо оказаться при своем движении из $s_i \in S_0$ в $s_i \in S_ц$ ($S_т = S / (S_0 \cup S_ц)$). В свою очередь $S_т = \tilde{S}_т \cup S_т^+$, где $\tilde{S}_т$ — множество сит ций, для которых существует по крайней мере одна решающ последовательность, приводящая ЭС в ситуацию $s_i \in S_ц$ (транзит ситуации); $S_т^*$ — множество ситуаций, для которых не существ

ни одной решающей последовательности, приводящей ЭС в ситуацию $s_f \in S_ц$ (тупиковые ситуации). Среди множества всех решающих последовательностей могут быть выделены следующие типы: правильная решающая последовательность (Р), приводящая из $s_i \in S_0$ в $s_j \in S_ц$ в условиях отсутствия воздействия случайных факторов (ошибок и отказов); правильная решающая последовательность с отклонениями (РО), приводящая ЭС из $s_i \in S_0$ в $s_j \in S_ц$ в условиях наличия ошибок и отказов элементов; неправильная решающая последовательность (РН), приводящая ЭС из $s_к \in S_т$ в $s_e \in S_т^*$, источником которой является ошибка или отказ элемента.

Всякий решающий путь в условиях воздействия случайных факторов может характеризоваться математическим ожиданием значения времени прохождения ЭС по решающему пути; вероятностью перехода из начала решающего пути в его конец; вероятностью перехода из начала решающего пути в его конец за заданное время.

Оценка ЭС может включать выяснение следующих ее свойств.

1. Существует ли решающий путь, соединяющий две произвольно заданные ситуации?

2. Каковы характеристики решающего пути, если он существует?

3. Математическое ожидание числа попаданий ЭС в произвольно заданную ситуацию.

4. Существуют ли тупиковые ситуации и, если существуют, каковы признаки, характеризующие их?

5. Если тупиковые ситуации существуют, то каково множество ситуаций, лежащих на РО, вероятность начала РН из которых выше заданного предела, и какие операции переводят ЭС с РО на РН?

Выделение перечисленных свойств ЭС возможно только с помощью исследования ее модели, если экспериментальное исследование реальной ЭС не представляется возможным. К сожалению, в настоящее время отсутствуют методы и средства описания моделей ЭС, обеспечивающие решение полного перечня указанных задач.

Моделирование в рамках ОСМ. Наибольшие возможности в решении перечисленных ранее задач предоставляет ОСМ. В рамках ОСМ-75 результатом анализа ситуаций и возможных вариантов функционирования систем является формальная порождающая система алгоритмического типа, моделирующая деятельность эргатических элементов в условиях воздействия случайных факторов. Формальная система обеспечивает порождение совокупности правильных решающих последовательностей с отклонениями. Оценка характеристик РО осуществляется путем анализа структуры порождающей системы (см., например, [4]) и вычисления характеристик РО на основании имеющихся

характеристик элементов структуры. В рамках ОСМ-75 разви аппарат сведения фрагментов структуры к элементам с экв валентными характеристиками (принцип сворачивания стру тур), что явилось основой для вычисления характеристи структур с использованием ЭВМ. Многообразие структур явл ется недостатком при автоматической оценке параметр структуры, если структура оказывается нетиповой, анал прекращается и дальнейшая оценка проводится вручную.

В рамках ОСМ-81 сохранены основные принципы ОСМ-7 однако имеются и существенные отличия в средствах описан моделей: формальные порождающие модели описываются помощью функциональных сетей с развитым аппаратом оп сания параллельно протекающих процессов; допускается ко реляционная зависимость между результатами выполнен одних операторов и параметрами других; имеется принцип альная возможность использования методов анализа и прин тия решений, разработанных в рамках ситуационного упра ления [5].

Система аналитико-имитационного моделирования ЭС. Ан литическое моделирование заключается в анализе структу функциональной сети и выделении типовых функциональн структур, для которых существуют математические зависимос между параметрами входящих типовых функциональных э ментов (ТФЭ) и параметрами эквивалентного ТФЭ. Расп нанная структура заменяется эквивалентным ТФЭ. Проце анализа продолжается до тех пор, пока вся функциональн сеть не заменится эквивалентным ТФЭ. Аналитическое мо лирование становится невозможным, если в сети обнаружи ется фрагмент, для которого не существует эквивалентно ТФЭ, и если существует корреляционная зависимость меж результатом выполнения какого-либо оператора и параметра функционирования другого оператора. В этих случаях необ димо использование методов имитационного моделирова Однако аналитическое моделирование является предпочтите ным с точки зрения точности получаемых результатов и в мени решения задачи оценки.

На рисунке приведена упрощенная функциональная стр тура процесса аналитико-имитационного моделирования, со тающего методы аналитического и имитационного моделиро ния. Назначение блоков: АКО — анализатор коррелирующ операторов, который осуществляет поиск коррелирующих о раторов и выделяет фрагмент структуры, в пределах котор имеются коррелирующие операторы, и формирует макровы вы; МАКРО — макропроцессор, который осуществляет мак подстановки хранящихся в библиотеке макроопределений вм то макровызовов, в результате его работы генерируется п грамма на входном языке системы непрерывно-дискретного м делирования (в данном случае система НЕДИС [6], обес

чивающая имитационное моделирование параллельных процессов); БМАКРО — библиотека макроопределений, представляющих фрагменты программы на входном языке системы НЕДИС; АНАЛИЗАТОР — осуществляет анализ структуры функциональной сети с целью поиска типовых функциональных сетей (ТФС), заменяет ТФС на ТФЭ и инициирует вычисление параметров ТФЭ ИНТЕРПРЕТАТОРОМ; БФ — библиотека стандартных программ пересчета параметров ТФС в параметры эквивалентного ТФЭ.

Работа системы осуществляется под управлением программы ДИСПЕТЧЕР. Она заключается в определении параметров функциональной сети, описание которой представлено на языке пользователя (Р).

На первом этапе осуществляется исключение из сети всех коррелирующих операторов. Для этого выделенные в блоке АКО фрагменты сети переводятся в программу на входном языке системы НЕДИС, осуществляется имитационное моделирование этих фрагментов сети и в исходной программе соответствующие фрагменты заменяются эквивалентными ТФЭ.

На втором этапе описание функциональной сети, не содержащее коррелирующих операторов, поступает на вход АНАЛИЗАТОРА, который выделяет ТФС и осуществляет их «сворачивание». Делается попытка «свернуть» максимально возможное число ТФС. Если конечная цель работы системы не достигается, то «несворачиваемая» структура преобразуется в форму макровызовов, подается на вход макропроцессора, осуществляется ее имитационное моделирование с последующей заменой на эквивалентный ТФЭ. Затем попытка сворачивания оставшейся сети повторяется и т. д.

Принципы построения блоков анализатора, АКО и формирования макровызовов не являются тривиальными. Они находятся в стадии проработки.

Список литературы: 1. *Губинский А. И., Евграфов В. Г.* Эргономическое проектирование судовых систем управления — Л.: Судостроение, 1977.— 224 с. 2. *Губинский А. И., Плаксин И. А., Евсиков В. И.* Методические рекомендации по оценке качества функционирования систем «человек — техника» на ЭВМ.— Л.: Изд. АН СССР, 1978.— 31 с. 3. *Попов Э. В., Фридман Г. Р.* Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта.— М.: Наука, 1976.—456 с. 4. *Грис Д.* Конструирование компилляторов для цифровых вычислительных машин.— М.: Мир, 1975.—544 с. 5. *Клыков Ю. И.* Ситуационное управление большими системами.— М.: Энергия, 1974.— 135 с. 6. *Система* программирования НЕДИС.— К.: Изд. ИК АН УССР, 1975. Ч. I, 205 с., Ч II. 189 с.

Поступила в редколлегию 29.03.82.

УДК 681.34

Н. И. СЕНЧЕНКО, канд. техн. наук, *В. Б. МИЛОСЕРДОВ*

АЛГОРИТМЫ УСТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ В КОММУТАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ АНАЛОГОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ ГВС

При проектировании коммутационных систем (КС) для аналоговых процессоров (АП) гибридных вычислительных систем (ГВС) и организации их работы возникает ряд задач, связанных с разработкой алгоритмов управления процессом установления соединений. Этот процесс содержит следующие этапы: составление списка требований на соединения (списка $Д$) на основе математического описания задачи, подлежащей моделированию; преобразование списка $Д$ по определенному алгоритму для получения списка соединений (списка S), соответствующего возможностям КС; реализация списка S в реальной КС.

Для получения списка соединений и управления КС разрабатываются специальные алгоритмы. Сложность и структура этих алгоритмов существенно зависит от процесса коммутации.

По способу реализации списка требований различают системы с разовым процессом коммутации, системы с перестроением и с обычным процессом коммутации [1].Процессом разовой коммутации называется режим коммутации, при котором задан весь список $Д$, а установленных соединений в КС нет, $S = \varnothing$.

В КС с перестроением при предъявлении списка $Д$ имеются уже установленные соединения, $S \neq \varnothing$, которые могут подвергаться ревизии. Если список S не может подвергаться ревизии, то такие КС называются системами с обычным процессом коммутации.

При построении коммутационных систем для ГВС обычно предполагалось, что это системы разовой коммутации. Здесь

показано, что для аналоговых процессоров ГВС могут применяться КС с различными процессами коммутации, и предложены алгоритмы установления соединений для различных типов коммутационных систем.

Анализ способов организации вычислений в ГВС. В зависимости от организации вычислений в ГВС к КС предъявляются свои специфические требования и накладываются определенные ограничения на их структуру и функционирование. Для установления типов КС, которые могут использоваться в ГВС, проведем анализ возможных способов организации гибридных вычислений.

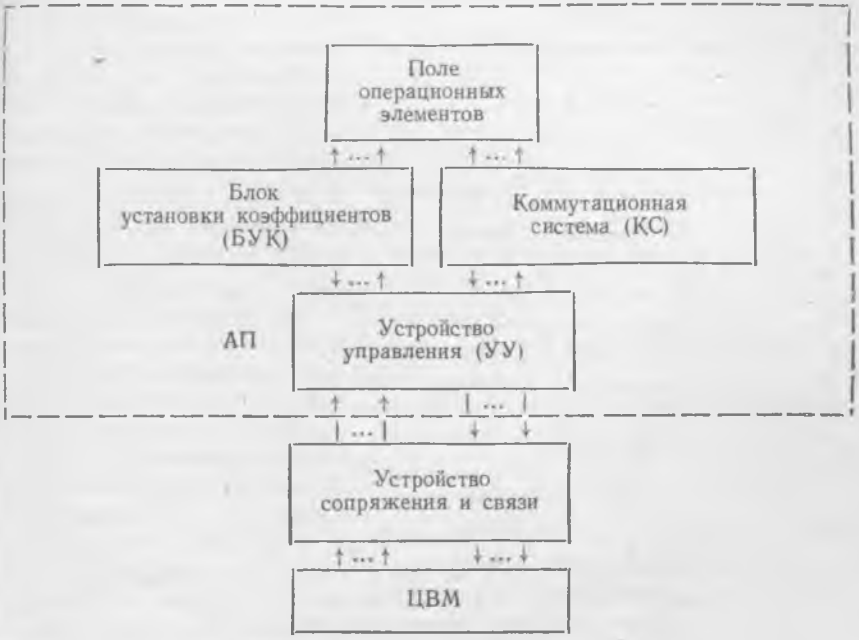


Рис. 1

Пусть в памяти цифрового процессора (ЦП) ГВС хранится некоторое множество задач $B = \{b_k\}$; $B \neq 0$; $k = \overline{1, n}$, подлежащих решению на аналоговой части ГВС. Реализацию этой совокупности задач можно организовать различными способами. Рассмотрим некоторые из них.

1. Все n задач решаются последовательно. По запросу из устройства управления АП (рис. 1) информация о задаче b_k поступает в блок ввода КС [2]. После набора схемы решения в момент t_1 (рис. 2, *а*: *1* — КС; *2* — БУК; *3* — решение) производится установка значений коэффициентов и начальных условий. С момента t_2 начинается решение задачи b_k. В момент t_3 АП заканчивает

решение и разрешает ввод новой вычислительной работы b_{k+1}. Общее время решения задачи b_k равно $T_k = \sum_{j=1}^{3} t_{kj}$, где $k = \overline{1,n}$, а t_{kj} — время работы j-го устройства при решении задачи b_k.

В данном случае КС работает в режиме разовой коммутации и ввод задачи b_{k+1} не будет начинаться до тех пор, пока не закончится решение задачи b_k. Это значительно удлиняет время решения множества задач B, которое будет равно $T_1 = \sum_{k=1}^{n} T_k + T_t$. Здесь T_t — время, затрачиваемое управляющей программой на прерывание и выборку структурных схем. Для КС с разовым процессом коммутации список соединений S_k^t в момент времени t зависит лишь от списка требований $Д_k$ для задачи b_k, т. е. $S_k^t = f(Д_k)$.

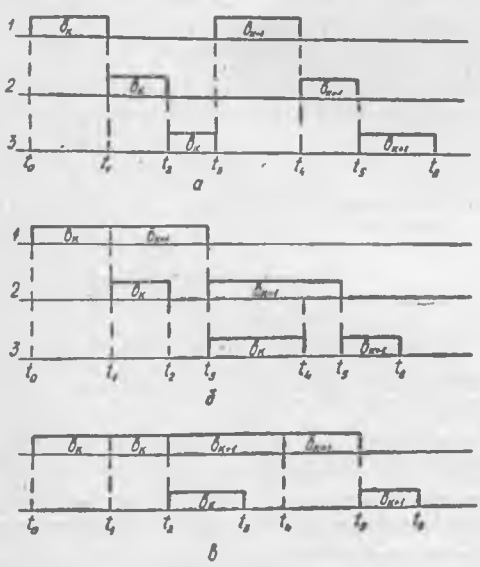


Рис. 2

2. Множество B разбивается на пакеты, допускающие параллельный набор схем решения [3]. После набора структурной схемы задачи b_k в момент t_1 одновременно с установкой коэффициентов для b_k производится набор задачи b_{k+1} (рис. 2,*б*). Такая организация вычислений дает сокращение времени решения множества задач B по сравнению с последовательной обработкой. Коммутационная система при этом должна работать в режиме с перестроением, так как список S_k задачи b_k может быть подвергнут ревизии при наборе задачи b_{k+1}. Тогда список соединений S_{k+1}^t в момент времени t является функцией списка требований $Д_{k+1}$ и списка S_k^t, т. е. $S_{k+1}^t = f(Д_{k+1}, S_k^t)$.

3. Совокупность задач B делится на пакеты, допускающие выполнение подготовительных операций для задачи b_{k+1} во время решения задачи b_k (рис 2,*в*). В момент t_2 при решении задачи b_k коммутационная система осуществляет набор схемы решения задачи b_{k+1}. В этом случае общее время решения пакета задач будет равно

$$T_3 = \begin{cases} \Sigma t_{\text{под.}, k+1} + T_t, & \text{если } t_{\text{под.}, k+1} > t_{\text{реш.}, k}; \\ \Sigma t_{\text{реш.}, k} + T_t, & \text{если } t_{\text{под.}, k+1} \leqslant t_{\text{реш.}, k}, \end{cases}$$

где $t_{\text{под.}, k+1}$ — время подготовки задачи b_{k+1} к решению, а $t_{\text{реш.}, k}$ — время решения задачи b_k.

Для такой организации вычислений КС является системой с обычным процессом коммутации, так как список соединений S_k не может подвергаться ревизии при наборе задачи b_{k+1}. Для этого процесса коммутации $S^t_{k+1} = f(Д_{k+1}, S^t_0)$, где $Д_{k+1}$ — список требований для задачи b_{k+1}, а S^t_0 — список соединений, не подлежащих перестроению в момент времени t.

Приведенный анализ показывает, что при различных способах организации вычислений в ГВС могут применяться КС с различными процессами коммутации.

Составление списка требований (списка $Д$) в ГВС осуществляется с помощью систем автоматизации программирования, которые по заданному математическому описанию составляют произвольные схемы решения, не учитывающие ограничений реальных КС. Для автоматического набора задачи необходимо упорядочивать полученную схему решения так, чтобы она соответствовала возможностям КС для различных процессов коммутации.

Формальная постановка задачи. Пусть имеется структура A, содержащая вычислительные блоки (ВБ) a_{ij}, $A = \{a_{ij}\}$; $i = \overline{1, u}$, $j = 1, v$, где u — число типов ВБ, а v — число ВБ i-го типа. Общее число ВБ d равно

$$d = \sum_{i=1}^{u} \sum_{j=1}^{v} a_{ij}.$$

Сеть связей между ВБ определяется коммутационной матрицей L.

Дано множество $B = \{b_k\}$; $B \neq \varnothing$; $k = \overline{1, n}$ независимых задач. Любая задача $b_k \in B$ может быть разбита на операторы $C_k = \{c^k_{ij}\}$; $C_k \neq \varnothing$; $i = \overline{1, p}$; $j = \overline{1, q}$, где p — число типов операторов, а q — число операторов i-го типа. Общее число операторов задачи C_k равно

$$r_k = \sum_{i=1}^{p} \sum_{j=1}^{q} c^k_{ij}.$$

Предполагается, что операторы $c^k_{ij} \in C_k$ могут быть реализованы с помощью ВБ $a_{ij} \in A$.

Для реализации задачи $b_k \in B$ на структуре A необходимо выделить подмножество ВБ $H \subset A$ и задать оператор сопряжения P, который определяет вид сети связей. Оператор сопряжения P и подмножество H образуют схему решения задачи $b_k \in B$.

Вопрос состоит в следующем. Можно ли поставить в соответствие каждому оператору $c^k_{ij} \in C_k$ один из ВБ $a_{ij} \in A$ таким образом, чтобы при соединении их в структурную схему между блоками имелась связь? Для решения этого вопроса необходимо, чтобы выполнялись следующие условия: какую бы группу из r_k,

$k = \overline{1, n}$ операторов мы ни взяли, должно найтись, по крайней мере, r_k вычислительных блоков, каждый из которых мог бы реализовать один из операторов (это условие будем для краткости называть условием возможности решения); распределение операторов между ВБ должно соответствовать возможностям коммутационной матрицы L.

Проверить условие возможности решения на цифровой части ГВС очень просто. Сложнее осуществить проверку второго условия. Для этого необходимо разработать алгоритм, который позволял бы отображать произвольные структурные схемы в схемы решения, соответствующие возможностям коммутационной системы. Построение алгоритмов установления соединений можно представить в виде решения комплекса следующих задач.

Задача 1. Для КС є разовым процессом коммутации необходимо разработать алгоритм, осуществляющий отображение φ: $Д_k \to L$.

Задача 2. При коммутации с перестроением множество B разбить на пакеты задач так, чтобы для каждой задачи пакета выполнялось условие возможности решения, величина $\sum_k r_k$ была бы близка к d и распределение операторов между ВБ соответствовало возможностям матрицы L.

Задача 3. Для обычного процесса коммутации необходимо построить алгоритм, осуществляющий отображение φ: $Д_k \to L \setminus S_0$, где S_0 — список установленных соединений.

В [4] было показано, что наиболее компактной формой задания коммутационной матрицы L является представление в виде условной матрицы. Поэтому, прежде чем переходить к описанию алгоритмов, рассмотрим представление схем решения условными матрицами.

Представление структурных схем условными матрицами. Программы для аналоговых процессоров ГВС можно задавать в виде графических структурных схем, их формального описания [5] или описания с использованием плекс-языка [6].

Любую структурную схему можно представить в виде направленного графа, который может быть описан матрицей инциденций $\Delta = \| \delta_{ls} \|$ $(l = \overline{1, h};\ s = \overline{1, q})$. Матрица инциденций структурных схем состоит из q столбцов, в которых перечислены типы ВБ и их номера, и из h строк, в которых перечислены дуги графа. Элементы δ_{ls} матрицы инциденций определяются по следующему правилу:

$$\delta_{ls} = \begin{cases} +1, & \text{если дуга } \omega_l \text{ исходит от ВБ } a_{ij}; \\ 0, & \text{если дуга } \omega_l \text{ не инцидентна } a_{ij}; \\ -1, & \text{если дуга } \omega_l \text{ входит в ВБ } a_{ij}, \end{cases}$$

где ω_l — дуга, соединяющая два вычислительных блока.

Полная матрица инциденций содержит много избыточной информации в виде нулей. Поэтому при построении алгоритмов установления соединений мы будем пользоваться условными матрицами. Для графических структурных схем условная матрица — это множество M элементов, определяемых следующим образом:

$$m_{lf} = s\delta_{ls};\ m_{lf} \in M,\ \text{если}\ \delta_{ls} \neq 0;$$
$$m_{lf} \in M,\ \text{если}\ \delta_{ls} = 0.$$

Здесь $f = 1,2$, а s — номер столбца.

Если задано формальное описание, построение условной матрицы осуществляется, минуя процесс перехода к матрице инциденций. При этом любой элемент m_{lf} условной матрицы представляется выражением $m_{lf} = (-1)^{f+1}(\beta_i + j)_l$, где $f = 1,2$; $i = \overline{1, u}$; β_i — константа, определяемая типом вычислительного блока; $j = \overline{1, v}$; l — номер связи между главным и вспомогательными элементами в формальном описании. Для главного элемента $f = 1$, а для вспомогательного $f = 2$, так как $\delta_{ls} = -1$, если дуга ω_l входит в ВБ a_{ij}. Следовательно, связь, входящая в вспомогательный элемент, должна быть со знаком минус. Алгоритмы перехода от структурных схем и их формального описания к условным матрицам приведены в [4].

При описании структурных схем с помощью плекс-языка построение условных матриц осуществляется следующим образом.

1. Для цепочки П-элементов определяем массив β_i, поставив в соответствие каждому типу элементов его начальный адрес.

2. Осуществляем поиск вспомогательных адресов, соответствующих элементам Г-вектора, и находим значения $\beta_i + j$.

3. Присваиваем знаки найденным выражениям $\beta_i + j$ и записываем их в условную матрицу в порядке возрастания их абсолютных величин.

Пример. На рис. 3 представлена аналоговая структурная схема, воспроизводящая решение системы линейных дифференциальных уравнений

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dx}{dt} - x + y; \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{dy}{dt} - y + x.$$

Формальное описание и описание схемы решения с помощью плекс-языка представлено в таблице. Там же приведена условная матрица M, построенная по рассмотренным ранее правилам при следующих значениях β_i: для интеграторов $\beta_i = 1$, а для инверторов $\beta_i = 8$.

Алгоритмы установления соединений. Обозначим множество всех связей между вычислительными блоками при полной коммутации через Q. Так как установленных связей нет (задача 1), множество связей R, не вошедших в матрицу L, образует запре-

щенные связи при l-кратной коммутации [2]. Коммутирующая матрица представляет собой условную матрицу $L = \| l_{zf} \|$. Следовательно, исходная схема решения, представленная списком Д, должна быть преобразована в условную матрицу $M = \| m_{lf} \|$ по ранее предложенным алгоритмам.

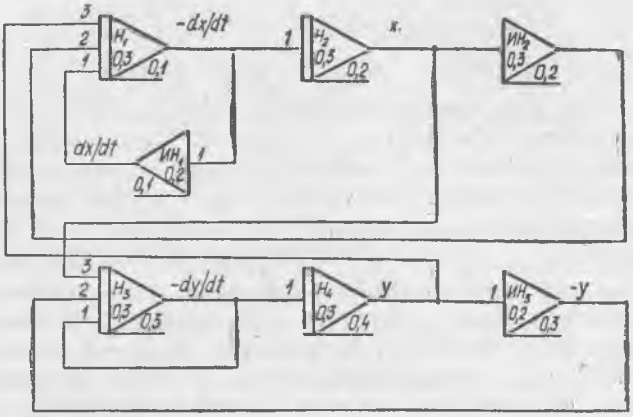


Рис. 3

Формальное описание схемы	Описание схемы с использованием плекс-языка	Представление схемы условной матрицей
0, 03 01 030201 020101 0, 02 01 030101 0, 03 02 020201 030303 0, 02 02 030102 0, 03 03 030301 030401 0, 03 04 020301 030103 0, 02 03 030302 1,	$P = ГИ_1, И_1, И_2, И_3, ИН_1,$ $ИН_2, ИН_3$ $Г = \{1, 0, 2, 1; 3, 0, 4, 1;$ $1, 0, 5, 1; 5, 0, 1, 1;$ $2, 0, 6, 1; 6, 0, 1, 2;$ $6, 0, 1, 3; 3, 0, 3, 1;$ $4, 0, 7, 1; 7, 0, 3, 2;$ $2, 0, 3, 3\}$	$M = \begin{Vmatrix} 2 & -3 \\ 3 & -9 \\ -2 & 9 \\ 3 & -10 \\ -4 & 10 \\ -2 & 10 \\ 4 & -4 \\ 4 & -5 \\ 5 & -11 \\ -2 & 11 \\ -4 & 11 \end{Vmatrix}$

Затем располагаем элементы матриц M и L в порядке возрастания абсолютных величин. Находим строки, для которых выполняется условие $m_{l1} = l_{z1}$, а m_{l2} и l_{z2} — однотипные элементы. Множество элементов матрицы L l_{z1} и l_{z2}, которым произвели замену элементов m_{l1} и m_{l2}, обозначим через W. Если m_{l2} и $l_{z2} \in W$, то производим замену элементов, равных m_{l2}, на l_{z2} в матрице M. Если же m_{l2} и $l_{z2} \in W$, то связь $m_{l1} — m_{l2} \in R$. Такая связь выводится на печать. При $m_{l1} \neq l_{z1}$ ищем среди элементов $l_{z1} \in L$ элементы одного типа с m_{l1} и заменяем m_{l1} и равные ему элементы матрицы M на найденный, если этот элемент $\in W$. В противном случае $m_{l1} — — m_{l2} \in R$.

Построим операторную схему алгоритма. Введем операторы A_0: расположить элементы матриц M и L в порядке возрастания абсолютных величин ($|m_{11}| \leqslant |m_{21}| \leqslant \ldots \leqslant |m_{l1}| \leqslant \ldots \leqslant |m_{k1}|$; $|l_{11}| \leqslant |l_{21}| \leqslant \ldots \leqslant |l_{z1}| \leqslant \ldots \leqslant |l_{t1}|$); $F_1 : z := 1$, $l := 1$; $P_2 : m_{l1} = l_{z1}$; $P_3 : m_{l2} = l_{z2}$; P_4: m_{l2} и l_{z2} принадлежат одному типу элементов: P_5: поиск связи $l_{i1} — l_{i2}$, где $l_{i1} = l_{z1}$, а l_{i2} и m_{l2} — одного типа; $P_6 : m_{l2} \in W$; $P_7 : l_{z2} \in W$; P_8: нахождение связи $l_{i1} — l_{i2}$, где $l_{i1} = l_{zi}$, а $l_{z2} \in W$; A_9: заменить в M элементы, равные m_{l2}, на l_{z2}, а элементы, равные l_{z2}, на m_{l2}, $P_{10} : l_{z1}$, $l_{z2} \in W$; $A_{11} : l_{z1}$ и l_{z2} записать на поле множества W; P_{12}: m_{l1} и l_{z1} принадлежат одному типу элементов; $P_{13} : m_{l1} \in W$; $P_{14} : l_{z1} \in W$; A_{15} заменить в M элементы, равные m_{l1}, на l_{z1}; P_{16}: нахождение элемента l_{i1} ($i > z$) того же типа, что и m_{l1}; $P_{17} : m_{l1} \in W$; A_{18}: записать m_l на поле множества W; $P_{19} : m_{l2} \in W$; $P_{20} : m_{l1} — m_{l2} \in R$; A_{21}: записать связь $m_{l1} — m_{l2}$ на R; A_{22}: записать m_{l2} на W; $F_{23} : z := i$; $P_{24} : l = h$; $P_{25} : z = t$; $F_{26} : l := l + 1$, $z := z + 1$; $P_{27} : z = t$; P_{28}: $m_{l1} — m_{l2} \in R$; A_{29}: записать $m_{l1} — m_{l2}$ на R; $P_{30} : l = h$; A_{31}: проверка оставшихся связей на принадлежность R и записать на R; $Я_{32}$: печать и конец.

A_0	F_1	$^{26}P_{2\downarrow 12}$	$^{15}P_3^{\uparrow 10}$	$P_4^{\uparrow 6}$	$P_{5\downarrow 17}$	$^{4}P_6^{\uparrow 17}$
$P_{7\downarrow 9}$	$P_{8\downarrow 17}$	$^{7}A_9$	$^{3}P_{10}^{\uparrow 24}$	A_{11}^{24}	$^{2}P_{12\downarrow 16}$	$^{23}P_{13}^{\uparrow 19}$
$P_4^{\uparrow 27}$	A_{15}^{3}	$^{12,27}P_{16}^{\uparrow 23}$	$^{5,8,6}P_{17}^{\uparrow 19}$	A_{18}	$^{13,17}P_{19\downarrow 29}$	$^{22}P_{20}^{\uparrow 24}$
A_{21}^{24}	$^{19}A_{22}^{20}$	$^{16}F_{23}^{13}$	$^{21,10,11,20}P_{24}^{\uparrow 32}$	$P_{25}^{\uparrow 32}$	F_{26}^{2}	$^{14}P_{27\downarrow 16}$
$P_{28}^{\uparrow 32}$	A_{29}	$^{28}P_{30}^{\uparrow 32}$	A_{31}	$^{24,30}Я_{32}$		

Для решения задачи 2 введем переменные

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-я задача включена в пакет;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда задачу установления соединений для КС с перестроением можно сформулировать так. Найти $\max \sum_{k=1}^{n} r_k x_k$ при условиях

$$\sum_{k=1}^{n} a_{ik} x_k \leqslant v; \quad \sum_{k=1}^{n} r_k x_k \leqslant d; \quad i = \overline{1, u},$$

где a_{ik} — число ВБ i-го типа, используемых в k-й задаче; r_k — общее число ВБ, необходимых для решения k-й задачи.

Алгоритм решения рассмотренной задачи для полной и l-кратной коммутации с перестроением представлен в работе [3].

Нетрудно показать, что алгоритм отображения для обычного процесса коммутации аналогичен алгоритму решения задачи 1, когда коммутационная матрица L заменена матрицей $L_1 = L \setminus S_0$.

В заключение отметим, что работа алгоритма исследовалась на ЭВМ ЕС-1022 для коммутационной матрицы L, содержащей 1480 переключателей. Исходная задача имела 248 переключателей. Время нахождения условной матрицы соединений и преобразование ее в формальное описание заняло 716 микросекунд.

Список литературы: 1. *Харкевич А. Д., Гармаш В. А.* Разовая коммутация.— Системы массового обслуживания и коммутации, 1974, с. 88—111. 2. *Сенченко Н. И.* Системы автоматической коммутации аналоговых процессоров ГВС.— Электронное моделирование, 1980, № 1, с. 49—55. 3. *Мурашко А. Г., Сенченко Н. И., Красногорова В. С.* Алгоритм планирования загрузки аналоговой части гибридной вычислительной системы.— Аналоговая и аналого-цифровая вычислительная техника, 1977, вып. 7, с. 60—65. 4. *Красногорова В. С., Мурашко А. Г., Сенченко Н. И.* Способ построения l-кратной коммутирующей матрицы для аналоговых структур.— Автоматика и телемеханика, 1977, № 1, с. 172—177. 5. *Мурашко А. Г., Сенченко Н. И., Терентьев М. Ф.* Об одном способе формального описания структурных схем для АВМ.— Аналоговая и аналого-цифровая вычислительная техника, 1973, вып. 5, с. 80—86. 6. *Сенченко Н. И., Терещенко А. П., Якушев Ю. Н.* Применение одного класса языков для описания и преобразования структурных схем.— Электронное моделирование, 1980, № 3, с. 20—24.

Поступила в редколлегию 19.02.82.

УДК 681.326.74.06

А. Н. МЫЗЬ, Л. В. ДЕРБУНОВИЧ

КОНТРОЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ОБЪЕКТАМИ, ДОПУСКАЮЩИМИ ДЕКОМПОЗИЦИЮ

Для анализа поведения сложных объектов широко применяются автоматные модели [1, 2]. Сложность объектов различной физической природы создает значительные трудности при построении их автоматных моделей. В этом случае декомпозиция сложных объектов является одним из эффективных путей решения этой задачи.

Рассмотрим методику построения тестов диагностирования объектов, описываемых моделями синхронных, детерминированных сильносвязных автоматов с конечным числом состояний:

$$A = \left\{\left\{\left\{S^t \frac{X^{t+1}}{Z^{t+1}} \to S^{t+1}\right\}_R\right\}, S_0\right\}. \qquad (1)$$

Здесь $\left\{S^t \frac{X^{t+1}}{Z^{t+1}} \to S^{t+1}\right\}_R$ — R-переход объекта из состояния S^t по входному воздействию X^{t+1} в состояние S^{t+1} с выходной реакцией Z^{t+1}; S_0 — начальное состояние объекта, удовлетворяющее требованиям декомпозиции.

В работе [3] исследованы свойства переходов объекта, позволившие по известным путям переходов строить множества возможных путей переходов для случаев неоднозначного отображения реакций блоков декомпозиций в выходном алфавите. Структурные схемы таких объектов представлены на рис. 1: *а*, *б* — последовательные композиции блоков A_α и A_β; *в*, *г* — композиции параллельного типа с независимыми и совмещенными входами и общей выходной комбинационной логикой.

Методика идентификации последовательностных автоматов путем определения множества путей переходов [3] использова-

на при построении тестов диагностирования объектов с учетом декомпозиционных особенностей их структур. Покажем, что для объектов рассматриваемых типов существуют тесты диагностирования, верхние границы длины которых короче, чем в работе [1].

Введем некоторые обозначения и определения, необходимые для дальнейшего изложения. Предполагается, что понятия и обозначения теории автоматов и технической диагностики [1, 4] будут вводиться без дополнительных разъяснений.

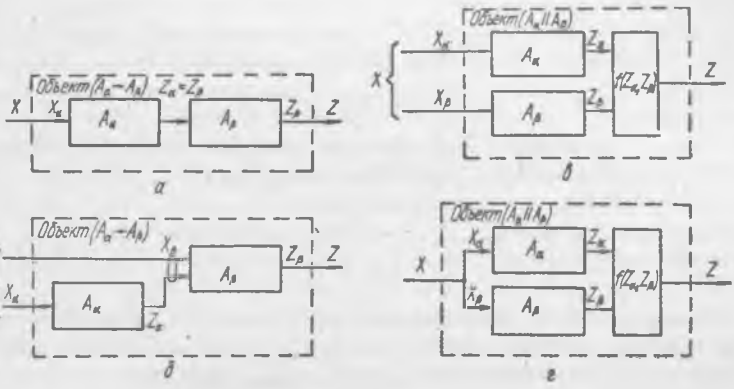


Рис. 1

Для объекта $(A_\alpha \to A_\beta)$ рис. 1, *а* выходной алфавит блока A_α входит во входной алфавит блока A_β: $Z_\alpha \in X_\beta$. Вход блока A_β недоступен, и входные последовательности для него могут формироваться только путем трансляции через блок-предшественник. Переменная x используется для представления неизвестного символа во входном алфавите этого блока.

Входное слово $T_{\alpha,j}$ блока A_α выбирается произвольно, но его выходное слово $U_{\alpha,j}$ может быть различимо только после трансляции через блок A_β. Выходная реакция $U_{\alpha,j}$ может однозначно идентифицироваться на выходе объекта, только если блок A_β имеет автоматную модель без потери информации конечного порядка.

Определение 1. *Входную последовательность T_j объекта $(A_\alpha \to A_\beta)$ будем называть транслируемой идентифицирующей последовательностью (ТИП) состояния $S_{\beta,a} \in S_\beta$ блока A_β, если ее воздействие на объект вызывает появление на выходе блока A_α последовательности $U_{\alpha,j} = T_{\beta,j}$, такой, что $\forall\, j \in \{1, 2, \ldots, K^\beta\}$ (K^β — число состояний блока A_β), $j \neq a$, $\forall\, S_{\beta,j} \in S_\beta$ имеет место соотношение $\lambda_\beta(S_{\beta,a}, T_{\beta,j}) \neq \lambda_\beta(S_{\beta,j}, T_{\beta,j})$ (2), где $\lambda_\beta(S_{\beta,j}, T_{\beta,j})$ — выходная лента блока A_β; причем $\delta_\alpha(S_{\alpha,0}, T_{\alpha,j}) = S_{\alpha,0}$, где $S_{\alpha,0}$ — исходное состояние блока при тестовом диагностировании блока A_β.*

Определение 2. *Входную последовательность T_j объекта $(A_\alpha \to A_\beta)$ будем называть транслируемой различающей последовательностью (ТРП) блока A_β, если она является ТИП* $\forall S_{\beta,j} \in S_\beta$.

Определение 3. *Характеристическим выходным словом (ХВС) для состояния $S_{\beta,a} \in S_\beta$ будем называть реакцию $U_\beta = \lambda_\beta(S_{\beta,a}, T_{\beta,q})$* (3) *в ответ на его входное слово $T_{\beta,q}$ длины F, если* $\forall T_{\beta,j} \in T_\beta$ *длины F и* $\forall S_{\beta,j} \in S_\beta$, $S_{\beta,j} \neq S_{\beta,a}$ *выполняется условие* $\lambda_\beta(S_{\beta,j}, T_{\beta,j}) \neq \lambda_\beta(S_{\beta,a}, T_{\beta,q})$ (4).

Определение 4. *ХВС для исходной a-группы состояний $S_{\beta,a,j} \in S_\beta$, $1 \leqslant j \leqslant K_a^\beta$ будем называть реакцию $U_{\beta,a} = \lambda_\beta(S_{\beta,j}, T_{\beta,q})$* $\forall S_{\beta,j} \in S_{\beta,a,j}$ *в ответ на входное слово $T_{\beta,q}$ блока A_β, если* $\forall T_{\beta,j} \in T_\beta$ *длины F и* $\forall S_{\beta,j} \in S_\beta$, $S_{\beta,j} \in S_{\beta,a,j}$ *выполняется условие:* $\lambda_\beta(S_{\beta,j}, T_{\beta,j}) \neq \lambda_\beta(S_{\beta,a,j}, T_{\beta,q})$ (5), *ХВС для исходной a-группы состояний блока A_β позволяет однозначно определить принадлежность к данной группе начального состояния пути переходов блока в ответ на это слово.*

Определение 5. *Характеристической идентифицирующей последовательностью (ХИП) для состояния $S_{\alpha,a}$ блока A_α будем называть входную последовательность $T_j = T_{\alpha,a}\ T_{\alpha,j}$, где $T_{\alpha,a}$ — НИП для состояния $S_{\alpha,a}$, $T_{\alpha,j}$ — слово, обеспечивающее* $\forall S_{\beta,a,j} \in S_{\beta,a}$ *получение на выходе блока A_β ХВС a-группы $\lambda_\beta(S_{\beta,a,j}, \lambda_\alpha(S_{\alpha,a}, T_{\alpha,a}\ T_{\alpha,j}))$.*

Определение 6. *Характеристической различающей последовательностью (ХРП) для состояний блока A_α будем называть входную последовательность $T_i = T_{\alpha,a}\ T_{\alpha,j}$, если она является ХИП* $\forall S_{\alpha,j} \in S_\alpha$.

Для синтеза теста диагностирования выполняется поиск ХВС блока A_β по следующему алгоритму.

1. $\forall Z_\beta$ из множества переходов Π_β блока выделить неразличимые по выходному символу пары переходов вида

$$\left\{S_{\beta,i} \xrightarrow[z_{\beta,a}]{x_\beta} S_{\beta,k}\right\} \quad \text{и} \quad \left\{S_{\beta,l} \xrightarrow[z_{\beta,a}]{x_\beta} S_{\beta,l}\right\}$$

и синтезировать переходы в a-группы: $\left\{S_{\beta,i} \xrightarrow[z_{\beta,a}]{x_\beta} S_{\beta,k}S_{\beta,l}\right\}$. Ввести полученные переходы в Π_β вместо исходных.

2. Для каждой вновь полученной a-группы повторять выполнение шага 1 алгоритма до тех пор, пока не завершится генерирование новых a-групп.

3. Строить граф групп-преемников по выходному алгоритму по следующим правилам: а) пометить исток графа множеством состояний S_β; б) для каждой буквы $Z_{\beta,i}$ выходного алфавита найти в a-группы-преемники состояний данного множества и пометить ими новую вершину графа; в) провести направленное ребро от истока к вновь полученной вершине и пометить его символом $Z_{\beta,i}$; г) пункты *б* и *в* повторить для каждой вновь полученной вершины до получения вершины, помеченной одной группой (или состоянием).

Множество вершин графа, помеченных одной группой (состоянием), будем называть его характеристическим остатком (σ).

4. Для каждого элемента множества σ полученного графа найти группы-предшественники вплоть до истока. Операция прекращается для данного элемента σ, если его вершина-предшественник содержит более одного состояния, переходящего в него. Если исток достигнут для одного или нескольких элементов σ, перейти к п. 5, если $\sigma = \varnothing$, заменить существующей группой минимальное число состояний истока и перейти к п. 3.

5. Осуществить конкатенацию переходов графа от истока к остаточной вершине, получив искомые ХВС блока A_β и его исходную a-группу (состояние). Выбрать состояние, определяющее ХВС минимальной длины или группу с минимальным числом состояний в качестве исходных для построения теста диагностирования блока.

Из данного алгоритма следует, что, если σ графа групп-преемников по выходному сигналу блока A_β имеет хотя бы один элемент, для блока существует, по крайней мере, одно ХВС состояния или группы. Действительно, для σ существует лишь одно предшествующее состояние (или группа) во всех вершинах-предшественниках, которое, в свою очередь, имеет лишь по одному состоянию в своих предшественниках. Следовательно, имеется лишь одно состояние или a-группа в истоке для пути от него к остаточной вершине.

Используя изложенные выше определения и методику идентификации объектов по множеству путей переходов [3], сформулируем алгоритм синтеза тестов для объектов ($A_\alpha \to A_\beta$).

1. Выбрать исходное состояние для блока A_α.

2. Получить исходную a-группу для блока A_β с минимальным числом состояний.

3. Найти множество ТИП (ТРП) для блока A_β и синтезировать множество путей переходов в ответ на них.

4. Выбрать множество путей переходов, достаточное для идентификации блока A_β по методике [3].

5. Построить тест диагностирования блока A_α на множестве путей переходов, полученных в п. 4.

6. Получить множество ХИП (ХРП) для блока A_α и множество путей переходов объекта ($A_\alpha \to A_\beta$) в ответ на них.

7. Выполнить п. 3, 4, 5 алгоритма для полученного в п. 6 множества путей переходов. Произвести конкатенацию тестов, полученых в п. 5. Синтез теста диагностирования объекта ($A_\alpha \to A_\beta$) завершен.

Рассмотрим выполнение данного алгоритма на примере объекта ($A_\alpha \to A_\beta$), заданного следующими множествами переходов блоков;

$$A_\alpha : \Pi_\alpha = \left\{ a \xrightarrow[1]{1} b,\ a \xrightarrow[1]{0} d,\ b \xrightarrow[0]{1} c,\ b \xrightarrow[1]{0} a,\ c \xrightarrow[1]{1} d,\ c \xrightarrow[1]{0} b,\ d \xrightarrow[1]{1} a,\ d \xrightarrow[0]{0} c \right\},$$

$$A_\beta : \Pi_\beta = \left\{ A \xrightarrow[1]{0} C,\ B \xrightarrow[1]{0} A,\ C \xrightarrow[0]{0} D,\ D \xrightarrow[1]{0} B,\ A \xrightarrow[1]{1} D,\ B \xrightarrow[0]{1} C,\ C \xrightarrow[0]{1} B,\ D \xrightarrow[0]{1} A \right\}.$$

1. Принимаем $S_{\alpha 0} = d$, для которого входные слова 01 и 10 — слова минимальной длины, переводящие блок A_α по переходу $d \xrightarrow[U_i]{T_j} d$.

2. Множество путей переходов, порождающих ХВС, имеет вид

$$\Pi^{\text{ХВС}} = \left\{ D \xrightarrow[0101]{1110} C,\ D \xrightarrow[0101]{0010} A,\ D \xrightarrow[0101]{1111} D,\ D \xrightarrow[0101]{0000} D \right\}.$$

3. Множества путей переходов блока A_β в ответ на ТРП (1001), ТИП_1 (10) и ТИП_2 (01) следующие:

$$\Pi_{1001} = \left\{ A \xrightarrow[1010]{1101} B,\ B \xrightarrow[0011]{1101} D,\ C \xrightarrow[0000]{1101} A,\ D \xrightarrow[0110]{1101} C \right\};$$

$$\Pi_{10} = \left\{ A \xrightarrow[10]{11} A,\ B \xrightarrow[00]{11} B,\ C \xrightarrow[00]{11} C,\ D \xrightarrow[01]{11} D \right\};$$

$$\Pi_{01} = \left\{ A \xrightarrow[10]{01} B,\ B \xrightarrow[11]{01} D,\ C \xrightarrow[00]{01} A,\ D \xrightarrow[10]{01} C \right\}.$$

4. Множество путей переходов, достаточное для идентификации блока A_β:

$$\mu_\beta = \left\{ A \xrightarrow[1010]{1101} B,\ A \xrightarrow[10]{01} B,\ B \xrightarrow[0011]{1101} D,\ B \xrightarrow[11]{01} D;\right.$$

$$\left. C \xrightarrow[0000]{1101} A,\ C \xrightarrow[00]{01} A,\ D \xrightarrow[0110]{1101} C,\ D \xrightarrow[10]{01} C \right\}.$$

5. Тест диагностирования блока A_β запишем так:

T_j	ТРП	ТРП	ТРП	ТРП	ТРП
$S_{\alpha,0}$	d	d	d	d	d
S_β	$D\rightarrow$	$C\rightarrow$	$A\rightarrow$	$B\rightarrow$	$D\rightarrow$
U_j	0110	0000	1010	0011	0110

ТИП_2	ТРП	ТИП_2	ТРП
d	d	d	d d
$C\rightarrow$	A	$B\rightarrow$	D C
00	1010	11	0110

ТРП	ТИП_2	ТРП	ТИП_2	ТРП	ТИП_2	
d	d	d	d	d	d d	d
C	$A\rightarrow$	B	$D\rightarrow$	C	A B	D
0000	10	0011	10	0000	10	0011

6. Множество путей переходов объекта $(A_\alpha \rightarrow A_\beta)$ в ответ на полученные ХРП имеет вид:

$$\Pi_{\text{ХРП}} = \left\{ a,\ D \xrightarrow[U_1 = 010101011]{100111010} b,\ D;\ b,\ D \xrightarrow[U_2 = 10000]{10010} c,\ D;\right.$$

$$c,\ D\xrightarrow[U_3=01011]{10011} d,\ D;\ d,\ D\xrightarrow[U_4=0110001]{1001011} a,\ D\Big\}.$$

7. Множество путей переходов, достаточное для идентификации блока A_α:

$$\mu_\alpha=\Big\{a\xrightarrow{\frac{01}{11}}a,\ a\xrightarrow{\frac{1111111}{1011101}}d,\ b\xrightarrow{\frac{01}{11}}b,\ b\xrightarrow{\frac{11111}{01110}}c,$$

$$c\xrightarrow{\frac{11}{11}}a,\ c\xrightarrow{\frac{00}{11}}a,\ d\xrightarrow{\frac{11}{11}}b,\ d\xrightarrow{\frac{001}{010}}e\Big\}.$$

Тест диагностирования блока A_α такой:

T_l ХРП$_4$ ХРП$_1$ ХРП$_2$ ХРП$_3$ ХРП$_4$ 1111111 ХРП$_4$ 01
S_α d a b e d a d a a
$S_{\beta,0}$ D D D D D D D D D
U_l U_4 U_1 U_2 U_3 U_4 0100011 U_4 01
ХРП$_1$ 01 ХРП$_2$ 11 ХРП$_1$ 11111 ХРП$_3$ 11 ХРП$_2$
a b b c a b c d b c
D D D D D D D D D D
U_1 01 U_2 01 U_1 10000 U_3 01 U_2
00 ХРП$_1$ ХРП$_2$ ХРП$_3$ 001 ХРП$_3$
e a b c d c d
D D D D D D D
01 U_1 U_2 U_3 100 U_3

Тест диагностирования объекта ($A_\alpha \to A_\beta$) рассмотренного примера имеет длину $D^\partial = D_\alpha + D_\beta = 54 + 122 = 176$ символов. Достижимая нижняя граница длины теста по методу [2] составляет 320 символов.

Верхняя граница длины тестов диагностирования объектов рассматриваемого класса, не имеющих различающих последовательностей [1], определяется выражением

$$D \leqslant MK\left[L+1+\frac{K-1}{2}\right]+L(K+1), \qquad (6)$$

где M — число букв входного алфавита; K — число состояний объекта; L — длина идентифицирующей последовательности.

Оценим верхнюю границу длины тестов, полученных с использованием предложенной методики. Предположим, что блок A_α имеет множество НИП длины, не превышающей L^α, число состояний блока A_β, входящих в исходную α-группу, составляет K^β_α, верхняя граница длины ТИП блока A_β — L^β. Тогда верхняя граница длины теста диагностирования блока A_β определяется состоянием

$$D^\beta \leqslant MK^\beta\left[L^\beta+1+\frac{K^\beta-1}{2}\right]+L^\beta(K^\beta+1). \qquad (7)$$

Верхняя граница длины теста для блока A_α определяется длиной ХИП $(L^\alpha + L^\beta)$ и числом состояний K_a^β:

$$D^\alpha \leqslant MK^\alpha K_a^\beta \left[L^\alpha + L^\beta + 1 + \frac{K^\alpha \cdot K_a^\beta - 1}{2} \right] + (L^\alpha + L^\beta)(K^\alpha K_a^\beta + 1). \quad (8)$$

Граница длины теста для объекта $(A_\alpha \to A_\beta)$ составляет $D^\partial = D^\alpha + D^\beta + K^\alpha$ **(9)**, где K^α — максимальная длина переходной последовательности.

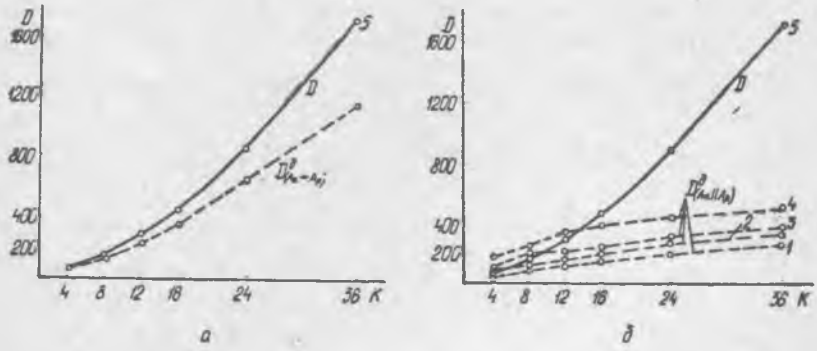


Рис. 2

Выражение (6) для объекта $(A_\alpha \to A_\beta)$ может быть представлено в виде

$$D \leqslant MK^\alpha K^\beta \left[L + 1 + \frac{K^\alpha K^\beta - 1}{2} \right] + L(K^\alpha K^\beta + 1). \quad (10)$$

На рис. 2, *а* приведена сравнительная оценка границ длины тестов, полученных по предложенной методике и без учета структурных особенностей объектов $(A_\alpha \to A_\beta)$ [1] для случаев, когда исходная a-группа содержит 50% состояний блока A_β, $L^\alpha = K^\alpha$, $L^\beta = K^\beta$, $L = 3$, $M = 2$. При этом предполагается, что длина идентифицирующих последовательностей растет пропорционально числу состояний блоков декомпозиции.

Верхняя граница длины тестов для объекта с 16 состояниями в среднем сокращается на 15%. В общем случае для произвольного объекта с последовательной декомпозицией число состояний исходной a-группы блока A_β может составлять $K_a^\beta = K^\beta$. Верхняя граница длины тестов при этом приближается к оценке $M(K^\alpha K^\beta)^3$.

Прохождение полученного полного теста свидетельствует о правильности функционирования объекта $(A_\alpha \to A_\beta)$. Если не прошли обе части теста, констатируется дефект объекта, т. е. тест позволяет только обнаружить дефект. Если не проходит только

одна часть теста, дефект локализуется до соответствующего блока декомпозиции.

Рассмотренная методика пригодна для синтеза тестов диагностирования объектов с декомпозицией, представленной на рис. 1, *б*. При получении характеристических и диагностических последовательностей в этом случае учитывается соотношение $X_\beta = (\overline{X_\cap X_\alpha}, Z_\alpha)$. Синтез тестов диагностирования объектов $(A_\alpha || A_\beta)$ с R параллельными блоками и выходной комбинационной логикой (рис. 1, *в*, *г*), основанный на идентификации блоков по множеству путей переходов, рассмотрен в работе [5]. Оценим верхнюю границу длины тестов для таких структур. Пусть для множества путей переходов μ_r, установленного по методике [3], длина максимальной входной последовательности — L^r. Граница длины суммарного теста для объекта с R параллельными блоками составляет

$$D^\partial \leqslant \sum_{r=1}^{r=R} D^r + \sum_{r=1}^{r=R-1} K^r. \qquad (11)$$

Из выражения (6) следует

$$D^\partial \leqslant \sum_{r=1}^{r=R} \left(MK^r \left[L^r + 1 + \frac{K^r - 1}{2} \right] + L^r (K^r + 1) \right) + \sum_{r=1}^{r=R-1} K^r. \qquad (12)$$

На рис. 2, *б* показаны оценки границы длины тестов диагностирования объектов $(A_\alpha || A_\beta)$ при $K = 4, 8, 12, 16, 24, 32$; $R = 3$, $M = 2$, $L^r = 3, 4, 5, 10$, полученные из выражения (11) без учета декомпозиционных особенностей по методике [1].

Применение рассмотренных процедур позволяет диагностировать объекты, допускающие параллельную декомпозицию, поблочно, что сокращает длину тестов по сравнению с известными методами [1, 2] в среднем на 50 %.

Список литературы: 1. *Богомолов А. М., Грунский И. С., Сперанский Д. В.* Контроль и преобразования дискретных автоматов.— К.: Наук. думка, 1975.— 174 с. 2. *Hennie F. C.* Fault Detection Experiments for Sequential Circuits. Proc. 5-th Annual Symp. on Switching Theory, S. 95—110. 3. *Мызь А. Н., Либерг И. Г.* Метод однозначной идентификации автомата путем определения множества путей переходов.— Гибрид. вычислит. машины и комплексы, 1980, вып. 3, с. 39—45. 4. *Гилл А.* Введение в теорию конечных автоматов.— М.: Наука, 1966.—272 с. 5. *Мызь А. Н.* Алгоритм синтеза тестов для автоматов с параллельной композицией.— Вестн. Харьк. политехн. ин-та, 1980, № 168. Автоматика и приборостроение. Вып. 7, с. 54—57.

Поступила в редколлегию 08.02.82.

УДК 612.82.014.42.001.57

Г. А. КОЛОТЕНКО, канд. техн. наук, *Т. И. АХМЕДОВ*, канд. мед. наук

ДОМИНАНТНЫЕ ВАРИАБЕЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

Кибернетический анализ доминантных иерархических подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга человека при афферентных раздражителях, в частности, при психофизиологическом воздействии, а также патологических состояниях головного мозга позволяет гомоморфно моделировать коммутационные особенности пространственно-временных межцентральных отношений разнообразных областей целостного мозга.

Выявление условий сопряжения структурно взаимосвязанных доминантных, дифференцируемых подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга при различных функциональных состояниях с входными параметрами технических устройств автоматизированных систем управления является целью данной статьи.

Изучение множества вероятностно проявляющихся, доминирующих систем и подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга при различных функциональных состояниях операторов АСУ является объективной необходимостью теоретической медицины. Практическое ее приложение, как показал опыт, может быть отражено в медико-биологических исследованиях эргатических систем, подсистемами которых, как известно, являются автоматизированные системы управления.

Доказано, что показатели когерентного, фазового, корреляционного, спектрального и других методов количественного анализа фоновых электроэнцефалосигналов (ЭЭС) малоэффективны при сопряжении с ЭВМ и другими техническими устройствами, включенными в АСУ, в первую очередь, потому, что индивидуальные особенности электрической активности головного мозга оказывают доминирующее влияние на крайнюю нелинейность и нестационарность на ЭЭС колебаний даже в «профильтрованном» — физиологическом диапазоне частот, не говоря о «смешанной» картине частоты следования ЭЭС, фазовых, гармонических и амплитудных «перемешиваниях».

Если в фоновой ЭЭС видеть только эту нелинейность, то количественный анализ множества доминантных и маловероятных («не очевидных», по теории П. К. Анохина) систем пространственно-временных связей головного мозга при различных функциональных состояниях сводится к индивидуальному подходу, и сопряжение доминантных иерархических подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей целостного мозга с входными параметрами АСУ усложняется. Всепогло-

щающее эйдиское разнообразие маловероятных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, отображающее одну из существенных сторон доминантных и маловыраженных сторон пространственно-временных связей целостного мозга, вуалирует, «затеняет» вероятные составляющие, общие направленности пространственно-временных связей мозга. Вместе с тем не следует исключать факт, что в ответ на стохастические, редко случайные возмущения формируются вероятные пространственно-временные межцентральные отношения, являющиеся продуктом интимного механизма церебральных систем и структур, одной из форм выраженности утонченного интегрально-дифференциального взаимодействия систем импульсного и электротонического возбуждения целостного мозга при различных функциональных состояниях операторов АСУ.

Индивидуальный визуально-качественный анализ электроэнцефалограмм (ЭЭГ) в отличие от группового количественного анализа связей, на первый взгляд, конкретизирует диагностические параметры. В действительности «индивидуальная» случайность без учета особенностей комплекса признаков других уровней сводит результативность к многозначности заключений, к беспредельному разнообразию ЭЭС, а значит, к невозможности использования в автоматизированных системах управления. Вместе с тем ЭЭС имеет такую энергетическую форму, которую не надо преобразовывать для работы электронных устройств АСУ.

Экспериментально установлено: использование микроэлектронных схем в интегральном исполнении позволяет создать субблоки, моделирующие разнообразие доминантных варьирующих систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга при различных состояниях операторов АСУ. Такие устройства сопряжения электрофизиологических показателей с входными параметрами автоматизированных систем управления могут быть построены на мажоритарном принципе. Но без концептуальных схем, автоматически реализуемых методиками теории распознавания, без совместного сопряжения с информативными признаками других уровней устройства сопряжения подобного типа оказываются недостаточно эффективными. Одной из попыток в этом направлении является построение корреляционных плеяд и «звездчатых корреляций» признаков синдрома [1]. Цель — использование АСУ в условиях клиники.

Фоновая ЭЭС отображает неопределенное функциональное состояние головного мозга оператора автоматизированных систем управления. При кибернетическом анализе, когда количественно анализируются связи, важно отобразить вероятное изменение формы пространственно-временной организации ЭЭС и частоту (вес) за определенный промежуток времени. Величина ЭЭС изменений, естественно, так же относительна, как отно-

сительно изменение функциональных состояний оператора АСУ. Если «монохроматический», однотипный афферентный раздражитель, например фонетический звук, вызывает маловероятный отклик, то анализируются ЭЭС, связанные с флуктуирующими, возможно, второстепенными, побочными процессами, когда интимные механизмы, «генерирующие» вероятные составляющие систем пространственно-временных связей головного мозга, данной методикой не улавливаются.

Но, вместе с тем, динамический стереотип может определять топологию рабочих констелляций, в частности, в форме множества доминантных иерархических систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга. Доминантные системы пространственно-временных связей головного мозга могут случайно трансформироваться как в норме, так и при патологии, но при определенных условиях некоторое время относительно сохраняться. Это позволяет использовать их в прогностической объективно-дифференциальной диагностике. Появляется возможность вероятностного управления, корректировки связей, а в более специализированном понимании (по терминологии биологической и медицинской кибернетики,— коррегирования доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, а поэтому «безусловного» (возможно, на уровне первой сигнальной системы) сопряжения вариабельных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга с входными устройствами автоматизированных систем управления.

Такой системно-кибернетический подход связан с помехоустойчивостью и случайно устойчивостью пространственно-временных межцентральных отношений, обусловленных, по всей видимости, системами импульсного и электротонического возбуждения целостного мозга оператора АСУ.

Возникает следующая сторона сопряжения: если маловероятное возмущение в ЭЭС фона вызывает одну и ряд вероятных (общих) направленностей, то, как ни парадоксально, стимулирующая, маловыраженная «помеха» в нейрокибернетическом аспекте может иметь более практическое значение для сопряжения с АСУ, чем основной флуктуирующий фон целостной деятельности головного мозга в физиологическом плане. Если при гомоморфном моделировании действие афферентного раздражителя не связывать с функциональным состоянием, то при проектировании эргатических систем акцент в данном вопросе необходимо сделать на степени случайности отклика, в частности, выраженного в форме множества систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга. В таком случае опорным параметром на афферентный раздражитель является вероятный отклик, например доминантные системы, пространственно-временные связи головного мозга, а не функциональное состояние оператора АСУ.

При сопряжении АСУ с доминантными иерархическими системами пространственно-временных связей головного мозга не следует смешивать «хаотические» и случайные отклики и возмущения. Случайность может быть разной степени выраженности, разной меры вероятности. «Хаотический» отклик головного мозга неопределенный. Если случайный отклик в форме систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга стремится к нулю, то, как известно, он маловероятен; если устремлен к единице,— то вероятностен, близок к достоверности и гарантии. Как отмечено, вероятность— мера случайности. В любом случае системы пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга случайны. Вероятностный отклик в форме доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, как правило, отражает функциональное состояние операторов АСУ. Как видно, такое условное разделение связано с возможностью и необходимостью сопряжения вероятностных ЭЭС показателей с входными параметрами ЭВМ, подключенными в АСУ.

Кибернетический анализ ЭЭС особое значение придает характеру и степени проявления биоэлектрической активности целостного мозга в пространстве и времени. Интегративная выраженность биоэлектрического ритма не исключает непредусмотренной случайности. По всей видимости, фоновые ЭЭС отображают доминирующие альфа-бэта и другие ритмовые системы пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга. Индивидуальные особенности случайных ЭЭС взаимодополнимы. Выделение маловероятных компанент ЭЭС и отрицание вероятностных (доминантных) систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга сводит количественный анализ связей к неуправляемому разнообразию, в конечном итоге — к эклектике.

Целостная деятельность головного мозга необычайно гибка в способности уравновешивания «внутренней» и внешней сред. Головной мозг, как утонченный механизм приспособления к системным изменениям окружающей среды, пластично и быстро реагирует на вероятные и редко случайные возмущения. Картина ЭЭС отражает тончайшие изменения в адаптационно-компенсаторном механизме без каких-либо микроповреждений, не говоря уже о выраженных психофизиологических отрицательных эффектах, наблюдаемых при реализации других методов.

Если допустить в идеальном случае, что не существует никаких раздражителей, то связи между структурами и системами головного мозга распределились бы равномерно. Это привело бы к их механистическому восприятию и, следовательно, соподчинению ньютоновским законам, что противоречит действительности. При наступлении смерти биоэлектрические источники

обесточиваются. Головной мозг в этом случае можно включить в электрическую цепь, но это не значит, что головному мозгу возвращено сознание.

Под воздействием раздражителей бодрствующий головной мозг операторов АСУ генерирует биоэлектрическую активность с большей вероятностью в одних зонах, образуя вариабельные пространственно-временные организации потенциалов головного мозга, с меньшей — в других. В синтезированно-интегральной форме систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга образуется аналоговая структура биоэлектрических полей. В дискретном восприятии системы пространственно-временных связей целостного мозга отображают «неоднородный рельеф», топологию ЭЭС. Разная степень выраженности структур обмеривается весом систем пространственно-временных связей головного мозга.

Связывая форму и степень проявления систем пространственно-временных связей головного мозга с вероятностью формирования на определенном этапе пространственно-временных организаций ЭЭС, как одной из форм выраженности системы импульсного возбуждения целостного мозга, под действием целенаправленных возмущений можно создать предпосылки группового кибернетического анализа. Переход от систем с меньшими степенями свободы к системам с большими степенями, т. е. от локальной пространственно-временной организации потенциалов головного мозга к диффузной дает возможность выявить иерархию межцентральных отношений головного мозга и использовать при сопряжении с АСУ. При групповом кибернетическом анализе ЭЭС «осуществляется преобразование пространства сигналов-реакций в пространство количеств информации (или) энтропии» [2]. Согласующие, например адаптивные устройства, входными сигналами которых является вес систем пространственно-временных связей головного мозга, накопленный за определенное время, это своеобразные автоматические программы. Ввод информации с выхода согласующих устройств производится непосредственно в ЭВМ. Для таких согласующих устройств характерно отсутствие конвергенции и дивергенции.

Сопрягаемая система пространственно-временных связей головного мозга одной структуры дифференцируется, если при различных целенаправленных возмущениях и сохранении временной выборки вес ее вероятностно меняется. Тонизация общемозговых диффузных пространственно-временных отношений при аналогичных функциональных состояниях и одинаковых раздражителях, как правило, одинаковы. Неоднородность перехода от локальности к диффузности свидетельствует о том, что нет детерминированных, «проторенных» афферентно-эфферентных путей.

Так как условия проявления систем пространственно-времен

ных связей головного мозга обусловлены общемозговыми процессами, то появление систем пространственно-временных связей на любом иерархическом ранге необходимо увязывать с деятельностью целостного мозга. А системы пространственно-временных связей целостного мозга параллельны, взаимообусловлены, взаимозависимы и соподчинены. Поэтому задача сопряжения доминантных систем пространственно-временных связей головного мозга при различных функциональных состояниях облегчается.

Аналогия сети иерархических систем и подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, скоммутированная на основе функционально-структурного объединения церебральных систем и структур различных уровней регуляции и лабильности, позволяет отобразить переход от структуры кибернетических систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга к физиологическим функциям, с одной стороны, и ко входам согласующих устройств АСУ — с другой. Если физиологическим коррелятором функциональных степеней свободы «считать вариабельность показателей, характеризующих деятельность систем», то при отборе доминантных вариабельных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, необходимых для сопряжения их с АСУ, учитывается вес и структура этой системы. Как известно, доминантные системы пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга одинаковых структур при различных функциональных состояниях, имея вероятно изменяющийся вес, дифференцируются.

Кибернетический анализ множества доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, используемый при сопряжении с АСУ, не противоречит концепции разнообразия целесообразных «поведений» физиологических систем. Более того, он углубляет и расширяет структурно-функциональные возможности головного мозга. Так, в некоторых случаях при внушении эмоциональных ситуаций меняется ЭЭГ картина по сравнению с фоновой в сторону активации. Изменения индивидуальны и зависят от исходного функционального состояния испытуемых-операторов АСУ. У эмоциональных ЭЭС показатели выражены резче. У некоторых групп операторов АСУ системы пространственно-временных связей могут иметь противоположный депрессивный характер. При внушении состояния покоя независимо от выраженности ЭЭС наблюдается тенденция к локальности систем пространственно-временных синхронных связей головного мозга операторов АСУ.

Структура и вес доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга «обеспечивают условия для фиксации и осуществления алгорит-

мов», имеющих вероятный характер, поэтому находят применение в объективной дифференциальной диагностике и используются в качестве входных сигналов АСУ, работающих в условиях клиники. Формирование вероятных алгоритмов систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга не только не отрицает, но, наоборот, углубляет достоверность корреляционных плеяд, составленных в совокупности с признаками, полученными на других уровнях биоэлектрической активности организма, не перекрывает, а дополняет не замеченные при индивидуальном анализе специфические особенности ЭЭС головного мозга.

Если считать, что ЭЭС выборка одного и того же оператора есть выборка из N структурно-функциональных состояний $\{x_i\}$, где $i = 1, 2, \ldots, N$, то эта выборка из генеральной совокупности ЭЭС с плотностью распределения $p\{x_i\}$ будет случайной, если $p\{x_1, x_2, \ldots, x_N\} = p\{x_1\}\, p\{x_2\} \ldots p\{x_N\}$. Следовательно, если ЭЭС выборка случайна, то все $N!$ системно-функциональных состояний головного мозга по весу равновероятны. По дедукции: согласно лабораторным данным, при идентичных афферентных раздражителях (если ЭЭС выборка ряда испытуемых есть выборка из N структурно-функциональных состояний $\{x_i\}$, где $i = 1, 2, \ldots, N$) эти выборки из генеральной совокупности с плотностью распределения $p\{x_i\}$ при условии $p(x_1, x_2, \ldots, x_N\} = p\{x_1\} \ldots, p(x_N\}$ и всех $N!$ функциональных состояниях имеют вероятную составляющую проявления веса систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга одной структуры, дифференцируемой при каждом из возможных состояний $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\ldots$, $\{x_N\}$.

В вероятном интервале $[x_1 x_2]$ отдельных систем пространственно-временных связей головного мозга однонаправленность проявления веса может быть равновероятна. При различных функциональных состояниях вероятность доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга может меняться, дополняться системами других структур с разнонаправленностью весов, которые при других функциональных состояниях могут оказаться не одновременными.

Системно-кибернетический анализ позволяет, учитывая индивидуальную выраженность ритмики множества ЭЭС отведений, отобразить общую направленность проявления систем пространственно-временных связей головного мозга аналогичных структур, но разных, дифференцируемых весов, характерных для соответствующих функциональных состояний.

Повышение эффективности автоматизированных систем управления должно быть согласовано с возможностями функциональных состояний человека-оператора и не происходить за счет максимального использования «внутренних ресурсов». Оно

должно происходить за счет выявления системного поведения оператора в случайных условиях. Системное поведение оператора определяется структурой, составом и вариабельностью информационного поля и функций АСУ, проектирование которых, как видно, без учета возможностей центрально-нервной системы в современных условиях невозможно.

Список литературы: 1. *Лещенко А. Г.* Особенности и механизмы изменений высшей нервной деятельности при очаговой патологии лимбических структур человека.— В кн.: 24-е Всесоюз. совещание по проблемам высшей нервной деятельности, посвященное 125-летию со дня рождения И. П. Павлова. Материалы секционных заседаний. М.: 1974, с. 159. 2. *Усов В. В.* Информационный подход к оценке результатов эксперимента.— В кн.: Статистическая электрофизиология. Материалы симпозиума. Паланга — Вильнюс, 1968, с. 569.

Поступила в редколлегию 10.09.80.

УДК 331.820+331.054

И. В. ДЕМЕНТЬЕВ

ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Рост объемов производства, сокращение времени производственных циклов, автоматизация и механизация процессов вызывают увеличение темпа работы, насыщение информацией, повышение нервной напряженности труда, что в значительной мере повышает требования к организации безопасности труда. Во всех промышленно развитых странах производственный травматизм приводит к ощутимым людским потерям и большим материальным затратам. Комиссия по охране труда Конгресса производственных профсоюзов США отмечала: «За три года войны в Корее мы потеряли 32 тысячи человек убитыми и 111 тысяч ранеными. За этот же период мы убили внутри страны 45 тысяч рабочих и нанесли ранение 6 миллионам рабочих» [1].

Огромные средства, расходуемые на профилактику производственного травматизма, не всегда приводят к эффективному его снижению. Недостаточная эффективность традиционных методов борьбы с производственным травматизмом вызывает необходимость изыскания новых путей.

При исследовании причин производственного травматизма обычно выделяют две основные группы — несчастные случаи, вызванные: а) человеческим и б) машинным факторами. Однако такое разделение условно, поскольку ситуация несчастного случая обычно является сложным переплетением человеческого и машинного факторов.

Анализ проблемы позволил определить комплекс эргономических и инженерно-психологических факторов, обусловливающих

уровень безопасности труда. Схематически предложенный комплекс факторов можно представить следующим образом:

Предложенная схема позволяет реализовать системный подход для исследования уровня безопасности труда, определения травмоопасности того или иного технологического процесса или оборудования, анализа отдельного несчастного случая или группы случаев за определенный период. При этом необходимо учитывать специфику объекта с точки зрения особенностей технологического процесса, уровня автоматизации и механизации оборудования, численности занятых в производственном процессе, в зависимости от этого отдельные элементы схемы приобретают большее или меньшее значение для организации безопасности труда и должны быть исследованы более или менее подробно.

Большинство исследователей проблемы безопасности труда, как правило, выделяют и анализируют один, по их мнению, решающий фактор, условно считая остальные факторы несущественными. Нет надобности говорить, что результаты такого исследования получаются односторонними и непригодными для практической деятельности.

Производственная среда. Специфика каждой профессии и конкретные условия производства в первую очередь определяют производственную среду и, в частности, организацию рабочего

места. Необходимо проанализировать достаточность размеров и рациональность компоновки рабочего места, обеспечивается ли удобство и безопасность выполнения работы, экономия движений и затрат физических усилий рабочего, соответствие расположения и размеров рабочего места антропометрическим данным человека. Рациональная организация рабочего места имеет целью предупредить или снизить преждевременное утомление человека, предотвратить возникновение психофизиологического стресса и возможность ошибочных действий, а также обеспечить безопасность процесса труда.

Производственная среда оказывает влияние на работающих непосредственно и опосредованно. В зависимости от величины и интенсивности воздействия одни и те же факторы могут оказывать как непосредственное, так и опосредованное влияние. Например, воздействие высоких температур воздуха, инфракрасного излучения ухудшает функциональное состояние организма: замедляет психические реакции, понижает уровень внимания, снижает защитно-приспособительные возможности организма, понижает его биологическую устойчивость к отрицательным внешним агентам. В то же время воздействие указанных факторов может стать непосредственной причиной несчастного случая — тепловой удар и т. п.

Факторы производственной среды оказывают одновременное воздействие на безопасность труда и его производительность. Так, производственный шум ускоряет процессы утомления, ослабляет внимание, ухудшает точность и быстроту реакции, маскирует полезные звуковые сигналы и т. п., чем способствует возникновению травмоопасных ситуаций. В то же время каждый децибелл (дБ) наращивания шума (при базисном уровне, равном 84 дБ) приводит к снижению производительности труда на 1 %. Кроме того, при возрастании шума от 70 до 90 дБ затраты энергии рабочих повышаются на 17—20 %.

Условия, формируемые характером и организацией трудового процесса. В процессе работы под влиянием условий среды, тяжести и напряженности труда происходят изменения в различных функциональных системах организма — расходуются энергетические ресурсы, изменяются частота и глубина дыхательных движений, интенсивность работы сердца, артериальное давление, температура кожи, тела и т. д.

Характер работы (затраты физических усилий, неудобная или вынужденная рабочая поза, продолжительное сосредоточенное наблюдение, большая плотность сигналов, сообщений, монотонная работа, напряжение зрительных и слуховых анализаторов, неблагоприятный темп работы) оказывает существенное влияние на психофизиологические резервы организма, истощает их и вызывает утомление. При этом удлиняется латентный период психических реакций, увеличивается число ошибок во время работы, снижается точность и скорость движений,

могут возникнуть непроизвольные паузы, вызванные реактивным торможением, внимание человека отключается. Продолжительность пауз непроизвольного отдыха различна у интровертов и экстравертов. У экстравертов паузы более длительны, больше периодов отключения внимания и, следовательно, они более подвержены несчастным случаям [2].

Значительная нервная напряженность труда, связанная с работой в условиях дефицита времени, может вызвать состояние стресса у работника, повлечь за собой опасные действия и создать аварийную или травмоопасную ситуацию.

Несчастные случаи вследствие невнимательности в определенной мере могут быть вызваны тем, что работник не обладает свободой выбора путей решения той или иной технологической задачи, тогда как свобода выбора повышает уровень внимательности и приводит к более качественному и безопасному выполнению работы. Жесткая, алгоритмизированная организация действий не всегда позволяет работнику сформировать наиболее удобный для него способ действия и не создает непосредственной потребности в улучшении конечного результата [3].

При анализе производственного травматизма необходимо учитывать существующий внутрисменный режим труда и отдыха. Научно обоснованный режим труда и отдыха может ослабить или даже устранить влияние неблагоприятных условий труда, улучшает психофизиологическое состояние человека, повышает его работоспособность и способствует обеспечению безопасности труда.

Характеристики индивида. По данным Международного бюро труда 30 % несчастных случаев вызывается машинным фактором и 70 % — человеческим [4]. А механизация и автоматизация производства еще более повышают роль человеческого фактора. В промышленно развитых странах уровень производственного травматизма, вызванного машинным фактором, стабилизировался и для сколько-нибудь существенного его снижения требуются значительные капитальные вложения. Следовательно, основной путь снижения производственного травматизма в ближайший период — это уменьшение числа несчастных случаев, вызванных человеческим фактором.

Степень соответствия индивидуальных особенностей работника требованиям, предъявляемым тем или иным видом труда, определяет успешность и безопасность выполняемой работы, а также уровень его профессиональной пригодности. Физическое или психическое несоответствие человека выполняемой работе может явиться причиной несчастного случая. Поэтому профессиональный отбор является существенным фактором снижения производственного травматизма.

Большую роль в обеспечении безопасности функционирования системы «человек — техника» играет уровень профессио-

нально-технической подготовки кадров и, в частности, обучение безопасным приемам работы. Отдельные авторы считают, что около 35—40 % несчастных случаев в той или иной мере связаны с недостатками в профессионально-техническом обучении. Отношение к труду, степень удовлетворенности работой, экономические и моральные стимулы формируют отношение к технике безопасности и определяют формы поведения. На уровень безопасности труда оказывает существенное влияние психофизиологическое состояние человека.

Мы считаем неверной точку зрения, что причина несчастного случая проявляется только в момент происшествия. Фактически под влиянием определенных причин травмоопасная ситуация возникает гораздо раньше и может быть отдалена от происшествия иногда значительным промежутком времени. Между системой причин, способствовавших возникновению несчастного случая, и происшествием находится период предрасположенности работника к несчастному случаю. Для обозначения такого состояния нами введено понятие «ситуативная предрасположенность к несчастным случаям», под которой понимается измененное в результате отрицательных внешних воздействий функциональное состояние человека, проявляющееся в неадекватном восприятии ситуации, состоянии апатии, неадекватном поведении, удлинении латентного периода реакций, замедлении рефлекса на опасность и т. п. О возникновении ситуативной предрасположенности к несчастным случаям обычно свидетельствует утрата человеком возможности контролировать и направлять ситуацию.

Социально-психологические влияния. На практике имеют место случаи, когда в коллективах, работающих примерно в одинаковых условиях, разный уровень травматизма объясняется различным уровнем организации коллективов. Например, слабые социально-психологические коммуникации между работающими могут способствовать несогласованности действий при совместной работе. Коммуникационная структура тем лучше, чем более прямо передается информация.

Многое зависит также от общего психологического климата в коллективе. Недоброжелательные отношения между людьми создают атмосферу напряженности и нервозности, могут способствовать возникновению травмоопасных ситуаций. Статус работника в коллективе в определенной мере может рассматриваться как показатель, вероятности его травмирования. Отдельные авторы указывают, что среди травмированных рабочих наличие лиц с нулевым социометрическим статусом составило 66,5—91,6 % [5].

Следует отметить, что организация безопасности труда является сложной многоплановой проблемой и выявление действительных и потенциально опасных источников и причин производственного травматизма возможно только путем комплексного

анализа эргономических и инженерно-психологических факторов, определяющих уровень безопасности труда.

Список литературы: 1. *Капитализм* против человека.— М.: Госполитиздат, 1963.— 222 с. 2. *Eysenck H. J.* The personality of drivers and pedestrians.— Accident Research: Method and Approaches, Harper and Row.— New York, 1964.—752 p. 3. *Зинченко В. П., Мунипов В. М.* Основы эргономики.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.— 344 с. 4. *Timin'ski K. Wplyw osobowos'cijednastki* na wipadkowos'c wpracy go'rniczey.— Przeglad go'rniczy, 1968, N 11, с. 529—532. 5. *Свирский Э. Л., Юровский В. Г.* Материалы к психологической профилактике травматизма.— Оздоровление условий труда на предприятиях тяжелой промышленности, 1978, вып. 2, с. 57—62.

Поступила в редколлегию 02.11.81.

УДК 577.352.5

А. В ПЕТРУХ, Д. И. САНАГУРСКИЙ, Е. А. ГОЙДА, С. И КУСЕНЬ, Т. П. ВРЕЦЬОНА

ОЦЕНКА ТРАНСМЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЗАРОДЫШЕЙ ВЬЮНА ПОСРЕДСТВОМ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ

За последнее время много попыток делается для аналитического описания взаимосвязи между отдельными элементами целостной биологической системы [1, 2]. Считается, что динамической основой временной структуры такой системы являются незатухающие колебания многих ее параметров, обусловленные существованием обратных связей [3—5].

Наша задача — оценить трансмембранный потенциал в динамике развития зародышей вьюна Misgurnus fossilis путем математической интерпретации его связей со скоростью потребления кислорода, изменениями обмена веществ под влиянием инсулина и антибиотиков — актиномицина Д и пуромицина.

Общая теоретическая сторона рассматриваемого аспекта исследования описана раньше [6, 7]. Здесь использована информация о 6—7-часовой динамике [8, 9] следующих параметров развивающихся зародышей вьюна: а) трансмембранный потенциал ТМП; б) скорость потребления кислорода СПК; в) ТМП при действии инсулина; г) ТМП при действии актиномицина Д; д) ТМП при действии пуромицина.

Видно, что параметры *а* и *б* получены в случае развития зародышей в норме, остальные — при действии на них гормонов и антибиотиков.

Известно, что актиномицин Д является ингибитором транскрипции, пуромицин — ингибитором трансляции, а инсулин влияет на обмен веществ, в том числе и на распределение электрогенных ионов, активирует ферменты гликолитической цепи и т. п. [10—11]. Поэтому мы имеем возможность рассматривать объект с учетом динамики параметров, отражающих

адекватно его состояние в различных условиях. Введем обозначения и операции следующего вида: $X(t)$ — изменение ТМП в нормальных условиях развития; $X_1(t)$ — изменение СПК в нормальных условиях развития; $X_2(t)$ — функция, описывающая влияние инсулина на динамику ТМП развивающегося зародыша вьюна; $X_3(t)$ — функция, описывающая влияние ингибирования транскрипции на ТМП развивающихся зародышей; $X_4(t)$ — функция, описывающая влияние ингибирования трансляции на ТМП развивающихся зародышей вьюна.

Тогда информацию о состоянии перечисленных выше параметров можно непосредственно использовать для реализации вычислений по ранее предложенному алгоритму [7].

Поскольку все эти параметры относятся к одной системе (развивающийся зародыш) и отражают состояние соответствующих ее элементов во времени, то они могут быть использованы для построения структурно-функциональной схемы, описывающей их взаимодействие. При составлении «грубой схемы» такого взаимодействия мы использовали корреляционный анализ по рассматриваемой ранее схеме [7] с применением следующих функций: $X(t)$ — динамика ТМП в нормальных условиях развития зародыша; $X_1(t)$ — динамика СПК в нормальных условиях развития зародыша; $F(t) = [X(t) - X_2(t)]$ — «чистая составляющая», отражающая действие инсулина на генерацию ТМП развивающегося зародыша; $F_1(T) = [X(t) - X_3(t)]$ — «чистая составляющая», отражающая ингибирование транскрипции на ТМП развивающегося зародыша; $F_2(T) = [X(t) - X_4(t)]$ — «чистая составляющая», отражающая влияние ингибирования трансляции на ТМП зародыша.

Приведем составленную на языке ФОРТРАН программу КОР для вычисления взаимнокорреляционных функций и косвенного построения матрицы градиента корреляций в определенные моменты времени.

```
      COMMON (COM) F(420,8), L1, NTP(8), NTK(8), S(420, 36)
      DIMENSION F(420, 8), S(420, 36), NTP(8), NTK(8)
      REAL MIN, MAX, MAX1
      M = L1*(L1 + 1)
      CALL KOR
      DO 5 I = 1,N1
      DO 1 J = 1,M
    1 K1(I, J) = 0
      DO 5 N = 1,M
      MAX = — 1
      DO 4 J = 1,M
      IF (MAX. GT. S(I, J)) GOTO 4
      DO 3 L = 1,M
      IF (K(I, L). EQ.J) GOTO 4
    3 CONTINUE
      MAX-S(I, J)
      KM = J
    4 CONTINUE
      K1(I, N) = KM
```

```
5 CONTINUE
  STOP
  SUBROUTINE KOR
  COMMON (COM) F (420, 8), L1, NTP (8), NTK (8), S (420, 36)
  REAL MIN, MAX, MAX1
  INTEGER T, T1
  I3 = 1
  DO 3 I =1,L1
  DO 3 J = 1,L1
  MP = NTP(I)
  MK = NTK (I)
  IF (MP — NTP (J)) 4,5,5
4 MP = NTP (J)
5 IF (MK—NTK (J)) 7, 6, 6
6 MK = NTK (J)
7 M = MK — MP + 1
  T = M
  M2 = M62
  DO 8 T1 = 1,M2
  MPT1 = MP + T1 — NTP (I)
  MKT1 = MP + M — T1 — NTP (I) + 1
  MP1 = MP + 1 — NTP (I)
  MP2 = MP + M — NTP (J)
  S (T1, I3) = F (MP1, I) *F (MPT1, J) + F (MKT1, I) *F (MP2, J)
  K = 4
  LT = M — T1 — 1
  IF (LT.LT.) GOTO 1
  DO 1 I2 = 1,LT
  I1 = MP + I2 — NTP (I) + 1
  I1T1 = MP + I2 + T1 — NTP (J)
  S (T1, I3) = S (T1, I3) + K *F (I1, I) *F (I1T1,J)
  K = 6 — K
1 CONTINUE
  S (T1, I3) = S (T1, I3) / 3./ (T — T1 + 1)
  MAX = S (1, I3)
  DO 8 T1 = 2,M
  IF( S(T1, I3). LT. MAX) GOTO 8
  MAX = S (T1; I3)
8 CONTINUE
  MIN = S (1, I3)
  DO 2 T1 = 2,M
  IF (S (T1, I3). GT. MIN) GOTO 2
  MIN = S (T1, I3)
2 CONTINUE
  DO 9 T1 = 1,M
9 S (T1, I3) = (S (T1, I3) — MIN) / (MAX — MIN)
  I3 = I3 + 1
3 CONTINUE
  RETURN
  END
```

Входная информация программы: F — экспериментальные данные; $L1$ — количество экспериментальных массивов; NTP — начальный момент наблюдений для отдельного массива; NTK — конечный момент наблюдения для отдельного массива.

В главной программе предусматривается для каждого (T1) размещение номеров полученных корреляционных функций по

градиенту убывания их величин. Соответствующие результаты представляются в форме таблиц и графиков.

В результате расчета всех возможных комбинаций взаимнокорреляционных функций между указанными выше параметрами получена матрица абсолютных значений в соответствующие периоды развития:

90 мин	0,992	0,940	0,929	0,000	0,938	0,981	1,000	0,964	1,000	1,000
180 мин	0,966	0,991	0,981	0,956	0,960	0,897	0,739	0,921	0,779	0,723
210 мин	0,954	0,947	0,902	0,736	0,898	0,787	0,856	0,815	0,664	0,576
240 мин	0,875	0,854	0,797	0,853	0,800	0,652	0,416	0,702	0,462	0,395
270 мин	0,767	0,735	0,651	0,543	0,669	0,491	0,355	0,551	0,454	0,297
300 мин	0,643	0,612	0,521	0,520	0,528	0,358	0,310	0,393	0,751	0,051

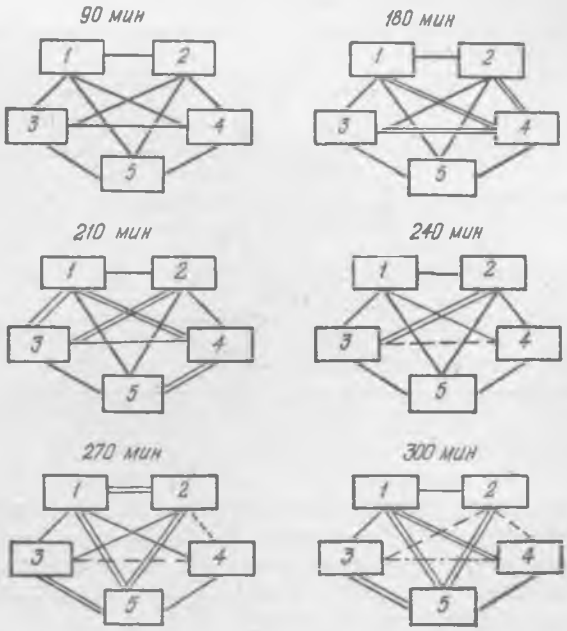


Рис. 1

Соответственно матрица силы связей, описанная в работе [7], будет иметь следующий вид:

90 мин	X	VII	IX	IV	VIII	VI	I	V	III	II
180 мин	II	I	III	V	VI	VIII	IV	IVII	IX	X
210 мин	II	I	III	V	VI	VIII	IV	VII	IX	X
240 мин	II	I	V	III	VI	VIII	IV	VII	IX	X
270 мин	II	I	V	III	VI	IV	VIII	VII	IX	X
300 мин	II	VII	I	V	III	IV	VI	IX	VII	X

Примечание. Номера функций соответствуют номерам связей на рис. 1. Используя прием, описанный в [7], получим следующие структуры (рис. 1).

Для наглядного представления изменения силы связей между двумя параметрами, отображающими развитие зародышей вьюна в динамике, можно использовать диаграммы попарного взаимодействия метаболических составляющих (рис. 2: I — ТМП — синтез белка; II — ТМП — синтез РНК; III — ТМП инсулинзависимые процессы; IV — ТМП — потребление кислорода; V — потребление кислорода — синтез РНК; VI — потребление кислорода — синтез белка; VII — потребление кислорода — инсулинзависимые процессы; VIII — синтез белка — ин-

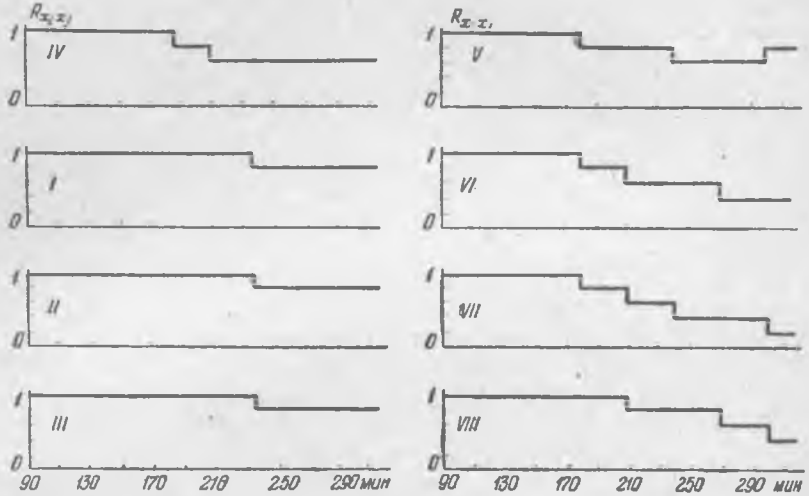


Рис. 2

сулинзависимые процессы), построенные на основании предложенных схем (рис. 1: *1* — синтез РНК; *2* — синтез белка; *3* — инсулин зависимые процессы; *4* — потребление кислорода; *5* — трансмембранный потенциал (ТМП). Величина коэффициента силы корреляционной взаимосвязи:

1,0 — 0,8; 1—2 V; 1—3 VI; 1—4 VII; 1—5 I;
0,8 — 0,6; 2—3 VIII; 2—4 IX; 2—5 II; 3—4 X,
0,6 — 0,4; 4—5 IV; 3—5 III).
0,4 — 0,2;
0,2 — 0,0:

Для этого попарно рассматриваются все возможные взаимодействия между ТМП и другими составляющими системы на промежутке изучения данного феномена. ТМП в данном случае является определенным показателем состояния развивающихся зародышей вьюна.

На диаграммах виден характер изменения силы связи между отдельными элементами развивающейся системы, позволяю-

щей установить возможную степень причастности тех или других процессов к генерации ТМП. Как видно, градиент убывания силы связей между взятыми параметрами имеет тенденцию к последовательному переключению от субстрактных синтетических процессов (синтез белка, РНК) к энергетической обеспеченности их, а следовательно, к генерации ТМП. Можно предполагать, что ослабление градиента силы связей между процессами синтеза белка и генерации ТМП является определенным сигналом для начала нового этапа развития в силу формирования другого субстратного профиля после 4—5 часов развития зародышей. В плане связей инсулинзависимых процессов и дыхания диаграммы дают отчетливую картину их усиления и ослабления по мере развития зародышей, что может обуславливать колебательный характер метаболизма. В то же время общее убывание силы связей свидетельствует о роли формирующихся в раннем эмбриогенезе подсистем регуляции метаболизма.

Схемы и диаграммы, представленные на рис. 1, 2, можно наращивать и развивать. Для этого в дальнейшем необходимо проверить все комбинации попарных взаимодействий между параметрами, описывающими состояние элементов, включенных в рассматриваемую систему.

Данный алгоритм — лишь первое звено построения общей математической модели регуляции метаболических процессов у развивающихся зародышей. Использование статистических методов моделирования является наиболее удобным при первичном анализе системы для выявления ориентировочных взаимодействий между важнейшими ее компонентами.

Предполагается дальнейшее, более детальное математическое исследование каждой из представленных схем, их анализ, а также внесение корректив в общую структуру, соответственно обнаруженным расхождениям с экспериментальными фактами. Изложенный алгоритм, реализованный в соответствующей программе на ЭВМ, приближенно воссоздает структуру функциональных взаимодействий в живой системе, что повышает эффективность планирования дальнейших исследований.

Однако адекватность модели всегда будет зависеть от точности экспериментальных исследований, которые составляют основу для соответствующих расчетов, а также от логики исходных концепций. Это позволит, видимо, не только находить новые механизмы регуляторных систем клеток, но и разрабатывать эффективное планирование научных исследований по рассматриваемой проблеме.

Заключение. Представлены результаты практической реализации алгоритма по поиску структуры взаимодействующих элементов в развивающихся зародышах вьюна. Найдено, что такие структуры не стационарны во времени. Такой результат соответствует корректным выводам относительно нестационарности метаболических процессов в развивающихся объектах.

Список литературы: 1. *Селькoв Е. Е.* Математические модели биологических систем.— М.: Наука, 1971.— 78 с. 2. *Laborit Henri.* Physiqie biollogie of cybernque.— Cybernetika, 1975, 18, N 2, p. 67—80. 3. *Гудвин Б.* Временная организация клетки.— М.: Мир, 1960.—160 с. 4. *Hastings J. W., Sweney B. M.* The Gonyaŭlax Clok In: «Photoperiodisn and Related Phenomena in Plants and Animals.» (ed. A. P. Withrow).— American Assotiation of Sciena, Washington, D. S., 1959.—567 p. 5. *Pitendrigh C. S.* On temporal organisation of living cells.— The Harvey Lektures, Academik Press, New-York, 1960, 56, p. 93. 6. *Санагурський Д. І., Гойда Є. А., Деркач М. Ф.* Математичні аспекти взаємозв'язків біохімічних параметрів з клітинними циклами в ранньому ембріогенезі.— В кн.: Третій Укр. біохімічний з'їзд. Донецьк, 1977.—304 с. 7. *Санагурский Д. И., Гойда Е. А.* Описание биологических структур с позиций их организации.— Проблемы бионики, 1980, вып. 24, с. 100—105. 8. *Гойда Е. А., Мукалов И. О., Муращик И. Г.* О взаимосвязи трансмембранного потенциала и потребления кислорода на начальных стадиях развития вьюна.— В кн.: Регуляторные системы обмена веществ в раннем эмбриогенезе. М.: Наука, 1979, с. 11—14. 9. *Кусень С. И., Санагурский Д. И., Муращик И. Г.* Изменения трансмембранного потенциала у развивающихся зародышей вьюна под влиянием инсулина, ингибирования транскрипции и трансляции.— Биофизика, 1980, 25, № 4, с. 658—663. 10. *Salass M. E., Vinnela E., Sols A.*— «Journ. biol. Chem.», 1963, 238, p. 3535. 11. *Weber G., Singhal R. L., Srivastava S. K.*— «Canad. Journ. Biochem.», 1965, 43, p. 1549.

Поступила в редколлегию 29.03.82.

УДК 510.62

В. И. БАЛАБАЙ, В. М. СТАРИКОВ

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ОСВОЯЕМОСТИ АСУ НА РАННИХ ЭТАПАХ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Возрастание объема и ответственности задач, решаемых современными АСУ, влечет за собой увеличение сроков их разработки и производства, а также повышает сложность операторской деятельности. В то же время сокращение сроков морального старения систем приводит к уменьшению времени их эксплуатации. В свою очередь, с возрастанием сложности деятельности операторов происходит увеличение продолжительности этапа освоения АСУ. Поскольку этап эксплуатации АСУ начинается с ее освоения оперативным персоналом, то от продолжительности этапа освоения системы зависит продолжительность ее эффективного функционирования. В соответствии с изложенным значительную актуальность приобретает задача сокращения сроков освоения АСУ.

Сокращение сроков освоения АСУ может быть достигнуто как за счет улучшения системы подготовки оперативного персонала, так и за счет совершенствования эргономических свойств технической части АСУ и, в первую очередь, ее освояемости.

Под освояемостью эргатических систем (ЭС) принято понимать совокупность свойств системы, обеспечивающих возмож-

ность приобретения и поддержания оператором (коллективом операторов) умений и навыков деятельности, необходимых для эффективного использования системы [1]. Под эффективностью ЭС понимают ее способность достигать поставленную цель в заданных условиях с определенным качеством [2].

Представляется возможным оценивать степень соответствия качества деятельности оператора требуемым значениям в зависимости от степени обученности оператора. Окончание процесса освоения системы может быть определено при достижении системой эффективности функционирования, не ниже заданного значения эффективности проектируемой системы.

Эффективность функционирования АСУ в значительной степени определяется качеством деятельности оперативного персонала. Поэтому эффективность АСУ будем оценивать качеством деятельности оперативного персонала при допущении, что техническая часть системы за время выполнения оператором алгоритма управления не откажет.

Поставленная цель может быть успешно достигнута с помощью математических методов априорной оценки качества операторской деятельности. Вместе с тем, анализ разработанных к настоящему времени аналитических и статистических методов показывает, что они не позволяют в достаточной степени учесть ряд особенностей деятельности операторов АСУ. К числу таких особенностей следует отнести: логический характер алгоритмов деятельности, способность операторов к самоконтролю выполняемых действий, особенности функционирования автоматики объектов управления и др.

Эффективность (Э) деятельности операторов алгоритмических ЭС принято оценивать следующим выражением: $Э = P_б P_{с/б}$, где $P_б$ — вероятность безошибочного выполнения алгоритма управления; $P_{с/б}$ — условная вероятность своевременного выполнения алгоритма при условии, что он выполнен безошибочно.

Значительное число аналитических методов оценки эффективности основано на допущении $P_{с/б} = P_с$, поскольку итоговый закон распределения времени безошибочного выполнения алгоритма ($T_б$), как правило, неизвестен. Кроме того, существенные трудности возникают при учете в аналитических моделях требуемого числа факторов, влияющих на эффективность операторской деятельности.

Статистические методы исследования в определенной степени лишены отмеченных недостатков, поэтому метод имитационного моделирования выбран в качестве основного метода исследования. Сущность данного метода заключается в построении моделирующего алгоритма, имитирующего как поведение исследуемой системы, так и воздействие на ее поведение соответствующих факторов. Основу моделирующего алгоритма составляет исследуемый алгоритм деятельности оператора с учетом особенностей его деятельности. На ранних этапах проекти-

рования АСУ алгоритм деятельности оператора, как правило, задается словесным описанием. Для его исследования математическими методами он должен быть представлен формально.

Деятельность оператора алгоритмической ЭС полностью определена инструкцией, которая является описательным заданием алгоритма деятельности, а согласно гипотезе Тьюринга [3], если существует алгоритм, то он может быть представлен соответствующим автоматом. Это позволяет использовать вероятностный конечный автомат в качестве математической модели описания алгоритмов деятельности операторов АСУ. Для задания закона функционирования автомата разработано значительное число так называемых операторных языков, среди которых в эргономике наибольшее распространение получили язык логических (ЛСА) и граф-схем (ГСА) алгоритма. В свою очередь в [4] показано, что процесс выполнения алгоритма может быть представлен композицией двух автоматов: управляющего и операционного. Общим недостатком операторных языков является то, что они позволяют задать не алгоритм в целом, а только его управляющую часть. Для задания алгоритма в целом с учетом особенностей деятельности операторов АСУ разработан модифицированный язык ГСА.

На основе данного языка разработан моделирующий алгоритм для оценки качества деятельности операторов АСУ методом имитационного моделирования. Моделирующий алгоритм позволяет имитировать деятельность оператора АСУ с учетом влияния на нее компоновки панелей управления и индикации, индивидуальных скоростных [5] и надежностных характеристик операторов и времени, отводимого оператору на выполнение алгоритма.

В результате исследования деятельности оператора с помощью разработанного моделирующего алгоритма можно оценить потенциальную эффективность разрабатываемой АСУ. Это позволяет определить степень соответствия потенциальной эффективности АСУ требуемому значению эффективности.

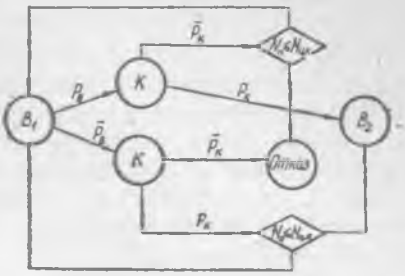
Другие показатели (вероятность безошибочного выполнения отдельной операции алгоритма; средняя и максимальная пооперационная напряженность оператора; время, необходимое оператору на выполнение алгоритма, при котором эффективность его деятельности максимальная, и др.) позволяют разработать конкретные рекомендации, направленные на повышение потенциальной эффективности системы, с целью достижения требуемых значений.

Данный этап в процессе исследования освояемости АСУ необходим потому, что основной задачей этого процесса является установление предполагаемых сроков достижения системой заданного уровня эффективности, который на этапе проектирования системы неизвестен.

Таким образом, процесс освоения АСУ количественно мо-

жет быть оценен с помощью показателей обучаемости, позволяющих определить время ($T_{тр}$), число тренировок ($n_{тр}$), необходимых для достижения оперативным персоналом требуемого значения эффективности их деятельности. Данные показатели могут быть найдены в результате имитации процесса обучения оператора АСУ деятельности по выполнению необходимого числа алгоритмов управления с требуемым качеством.

Имитация выполнения элементарной операции алгоритма заключается в розыгрыше временных затрат оператора на ее выполнение и определении успеха и неудачи результата ее выполнения. Время, затраченное оператором на выполнение операции, определяется с помощью датчика случайных чисел, распределенных по нормальному закону, а успех или неудача при выполнении операции — путем сравнения случайного равномерно распределенного числа (в интервале 0—1) со среднестатистическим значением вероятности безошибочного выполнения операции данного типа. В результате обучения оператора изменяются временные и надежностные показатели его деятельности. Разработанный моделирующий алгоритм ориентирован на использование надежностных показателей и, в первую очередь, вероятности безошибочного выполнения операции и алгоритма управления в целом. Изменение временных показателей не имитируется, поскольку это приводит к изменению времени тренировки, а не числа тренировок.



Анализ математических моделей обучаемости показывает, что наибольшими возможностями по отражению вероятностного характера процесса обучения оператора обладает модель обучаемости Буша и Мостеллера [6]. Данная модель в общем виде описывается двумя рекуррентными соотношениями:

$$P_n = P_{n-1}\alpha_1 + (1 - \alpha_1)\lambda, \quad (1)$$

$$P_n = P_{n-1}\alpha_2 + (1 - \alpha_2)\lambda, \quad (2)$$

где P_{n-1}, P_n — вероятности безошибочного выполнения алгоритма оператором в $(n-1)$-м и n-м циклах тренировок; λ — предельное значение вероятности P; α_1, α_2 — параметр, характеризующий скорость приобретения оператором необходимых умений и навыков, при безошибочной и ошибочной работе обучаемого соответственно.

Процесс обучения организован по схеме контроля событий обучаемым и обучающим (рисунок).

Принятые на рисунке обозначения имеют следующий смысл: B_1, B_2 — сенсомоторные операции; k — контрольная (сенсорная)

операция; для удобства представления возможных исходов одна операция представлена в виде двух вершин графа; $P_в$, $\overline{P}_в$ — успешное и неудачное выполнение операции соответственно; $\overline{P}_в = 1 - P_в$; $P_к$, $\overline{P}_к$ — успешное и неудачное выполнение контрольной операции соответственно; $\overline{P}_к = 1 - P_к$; $N_п$ — число попыток, предпринятых оператором для устранения обнаруженной ошибки; $N_{ч.к}$ — допустимое число таких попыток.

Моделирование процесса выполнения алгоритма оператором организовано в соответствии с возможными исходами результатов выполнения и контроля элементарных операций алгоритма (рисунок). В случае безошибочного выполнения и контроля ($P_в P_к$) оператор приступает к выполнению очередной операции алгоритма, при допущении ошибки при контроле ($P_в \overline{P}_к$), т. е. обнаружении «ложной» ошибки оператору представляется возможность устранить «ошибку» допустимое число раз ($N_п$). Если ошибка будет «устранена» за отведенное число попыток ($N_п > N_{ч.к}$), он переходит к выполнению очередной операции, в противном случае моделирование процесса прекращается, производится имитация очередной тренировки. Значение вероятности безошибочного выполнения операции рассчитывается с помощью выражения (2). В случае допущения ошибки при выполнении и контроле ($\overline{P}_в \overline{P}_к$) исхода операции тренировка признается безуспешной, имитация процесса производится по схеме, описанной ранее. В случае обнаружения допущенной ошибки ($\overline{P}_в \overline{P}_к$) оператор устраняет ее допустимое число раз ($N_п$); если ошибка не будет устранена, оператору производится подсказка, и он переходит к выполнению очередной операции алгоритма.

Определяемое в результате исследования число тренировок, необходимых для достижения оператором требуемых значений показателей качества его деятельности, позволяет оценить время освоения системы. Полученные оценки могут быть использованы как для сравнения конкурирующих разрабатываемых образцов, так и для разработки конкретных требований, направленных на сокращение сроков освоения АСУ.

Проверка достоверности получаемых результатов производилась с помощью натурного эксперимента по освоению оперативным персоналом одного из образцов АСУ. Полученная в результате моделирования зависимость величины P от числа тренировок свидетельствует о хорошем соответствии результатов моделирования экспериментальным данным по обучению операторов.

Список литературы: 1. *Введение* в эргономику / Под ред. В. П. Зинченко.— М.: Сов. радио, 1974.—352 с. 2. *СЧМ.* Основные понятия. Термины и определения. ГОСТ 21033—75. 3. *TURING A. M.* On computable numbers with and application to the entscheidungsproblem.— Proc. London, Math Soc., 1936, 42, № 3, p. 230—265. 4. *Глушков В. М.* Теория автоматов и формальное преобразование микропрограмм.— М.: Кибернетика, 1965, № 5, с. 1—9. 5. *Зи*

Шапель А., Вольф Дж. Модели группового поведения в системе человек — машина: Пер. с англ.— М.: Мир, 1976.—261 с. 6. *Буш Р., Мостеллер Ф.* Стохастические модели обучаемости.— М: Физматгиз, 1962.— 481 с.

Поступила в редколлегию 10.02.82.

УДК 681.3.61

К. В. ЛЮДВИЧЕК, В. Е. АЛЕКСЕЕВ, В. И. ИВАНОВ

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ГРУППЕ ОПЕРАТОРОВ ЭРГОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предлагаемый метод исследования закономерностей групповой деятельности операторов эрготехнических систем позволяет отнести каждого оператора к одному из четырех типов — лидеру, сотрудничающему, ведомому и обособляющемуся.

С этой целью для каждой пары операторов (i, j) экспериментально определяется групповая производительность G_{ij}, равная количеству операций, выполненных оператором i совместно с оператором j в единицу времени. В результате эксперимента для каждого оператора i рассчитывают его среднюю групповую производительность $\overline{G_i}$ и среднее квадратичное отклонение групповой производительности σ_i.

В первом приближении мерой эффективности групповой деятельности оператора может служить $\overline{G_i}$. Однако более полную характеристику оператору может дать оценка коэффициента вариации, учитывающая не только производительность, но и ее рассеивание:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\overline{G_i}} 100, \qquad (1)$$

где V_i — коэффициент вариации групповой деятельности i-го оператора.

Представим характеристику эффективности групповой деятельности оператора i в виде двумерного вектора $\overrightarrow{E_i} = (V_i, \overline{G_i})$ в плоскости $V_i O \overline{G_i}$. С этой целью начало координат O поместим в точку с координатами $(\overline{V}; \overline{G})$, где $\overline{G}$ — средняя групповая производительность операторов; $\overline{V}$ — средний коэффициент вариации групповой производительности операторов. Тогда все $\overline{G_i} > \overline{G}$ и $V_i > \overline{V}$ будут иметь положительный знак, а $\overline{G_i} < \overline{G}$ и $V_i < \overline{V}$ — отрицательный знак.

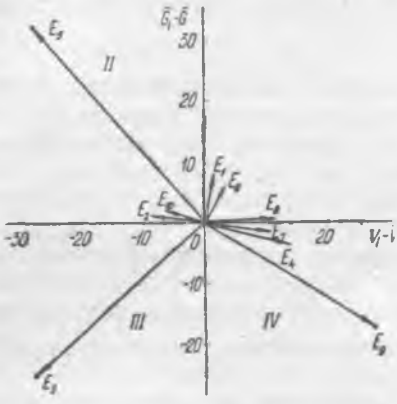
Поскольку $\overline{G_i}$ и V_i имеют разную размерность, масштаб их представления выбирают исходя из максимальных разностей между оценками i-х операторов и средними для всей группы

операторов: $(\overline{G}_i - \overline{G})_{max} = a\,(V_i - \overline{V})_{max}$ (2), где a — масштабный коэффициент.

Величина вектора $\vec{E}$ определяется формулой

$$|\vec{E}_i| = [\overline{G}_i^2 + V_i^2]^{1/2}. \quad (3)$$

В результате каждый вектор $\vec{E}$ будет находиться в одном из четырех квадратов плоскости $V_i O \overline{G}_i$, разделяя таким образом операторы на четыре группы (рисунок):



I группа (первый квадрат) — операторы, имеющие большую групповую производительность (выше средней) и большую ее дисперсию (выше средней). Эти операторы хорошо подстраиваются к работе партнера, их можно интерпретировать как сотрудничающий тип;

II группа (второй квадрат) — операторы, имеющие большую групповую производительность и малую дисперсию. Эти операторы подчиняют себе партнеров, их можно считать лидерами;

III группа (третий квадрат) — операторы, имеющие малую групповую производительность и малую дисперсию. Эти операторы одинаково плохо сотрудничают со всеми, их можно интерпретировать как обособляющийся тип;

IV группа (четвертый квадрат) — операторы, имеющие малую групповую производительность, но большую дисперсию. Их можно интерпретировать как ведомых.

Для реализации предложенного метода разработано устройство, с помощью которого получены экспериментальные данные, подтвердившие правильность теоретических предпосылок, положенных в основание метода *.

Поступила в редколлегию 10.02.82.

---

* А. с. 760166 (СССР). Устройство для оценки деятельности операторов систем управления / В. Е. Алексеев, В. И. Иванов, К. В. Людвичек и др.— Опубл. в Б. И., 1980, № 32.

УДК 331.015.11:15:001

А. П. ИЛЬИНСКИЙ, Л. С. ИЛЬИНСКАЯ, А. И. ЛЮБИЕВ

ВНУШЕННО ИЗМЕНЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ СОЗНАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ*.

СООБЩЕНИЕ 1

Для исследования и оптимизации операторской деятельности все шире применяются внушенно измененные состояния сознания. За рубежом используют гипноз в авиационно-космических психологических и медицинских исследованиях. Например, методом гипнорепродукции пользуются при расследовании причин катастроф [1].

Однако традиционный гипноз не пригоден для экспериментальных психологических исследований и непосредственной деятельности из-за заторможенности коры головного мозга у испытуемых, избирательности речевого контакта, выраженных функциональных нарушений в сенсомоторной сфере. Л. П. Гримак [2] рекомендует в этих целях использовать постгипноз, т. е. состояние, при котором реализация внушений, сделанных в глубоком гипнозе, происходит после полной дегипнотизации на фоне полноценного бодрствующего состояния, т. е. при полной профессиональной пригодности оператора. В своей монографии Л. П. Гримак описывает эксперименты с постгипнотической реализацией психической модели гиповесомости в продолжении 30 суток.

В США постгипноз используется для тренировок космонавтов, чтобы создать у них иллюзии реальности обстановки, сосредоточить внимание во время стресса и снизить у них потребность в кислороде, пище и воде, занять экипаж в свободное от выполнения установленных обязанностей время и создать иллюзию стимулов, при необходимости длительное время сохранять неудобную позу, снизить напряженность в полете и т. д. [3].

Методы, основанные на традиционном гипнозе, к сожалению, не могут быть отнесены к числу простых и общедоступных. В самом деле, для того, чтобы запрограммировать постгипнотическую реализацию, которая действительно происходит в бодром статусе, само программирование каждый раз приходится вести в глубоком гипнозе. Таким образом, каждое новое программирование или даже небольшая корректировка действующей программы сопровождается довольно сложной процедурой гипнотизации и дегипнотизации, на время которой оператор выбывает из состояния профессиональной пригодности. В свою очередь,

---

* Работа доложена на Всесоюзном семинаре «Эргономическое обеспечение сложных человеко-машинных систем» 1—4 апреля 1981 г., Харьков.

это потребует замены действующего оператора резервным с выполнением последним условий врабатывания в проблемную ситуацию.

Недостатки традиционного гипноза стимулируют поиски иных состояний. Совместная американо-венгерская разработка, так называемого аллертного (т. е. бодрственного) гипноза проводится под руководством профессора Эрнста Р. Хилгарда в лаборатории гипнотических исследований Стенфордского университета [4]. Методика получения этого внушенно измененного состояния состоит в том, что в перечне внушений традиционного стенфордского сеанса гипноза проводится замена всех расслабляющих и усыпляющих формулировок на формулы концентрации внимания и повышения бодрствования. Кроме этого, испытуемых нагружают одновременно с гипнотизацией работой на велоэргометре Монарка с утяжеленным маховиком и значительной тормозной нагрузкой (от 1 до 3 кг). Однако Ева Бания и Эрнст Хилгард обращают внимание на сходство некоторых проявлений аллертного гипноза с традиционным, несмотря на несколько преувеличенную двигательную активность испытуемых. Это сходство проявляется в отсутствующем выражении лица и направленном вдаль, несфокусированном взгляде испытуемых. Субъективно испытуемые подчеркивают сходство аллертного и традиционного гипноза в ощущениях нежелания планировать свою деятельность, в отсутствии чувства реальности, а также в ощущении возможности повышенной концентрации внимания.

Нами разработаны способы внушения наяву, которые упрощают (по сравнению с постгипнозом) процедуру программирования установок [5, 6]. Эти нетрадиционные способы нашли применение в исследованиях процесса принятия решения, которые проводились в рамках бионического аспекта программы «искусственный интеллект» [7]. Эти внушения строились без использований не только «усыпляющих», но и без «тормозных» формулировок. Например, не внушалось традиционное ощущение тепла и скованности, не использовалось сцепление рук и каталепсия. Получаемые реализации в результате стали отличаться от традиционных форм гипноза и гетероаутотренинга.

Обычно внушалось движение рук, зрительные иллюзии на фоне движущейся ладони, движения на фоне галлюцинаторной стенки, тактильные, обонятельные, зрительные и вкусовые галлюцинации (например, «Яблоко в руке! Ощутите его пальцами! Откусите! Вкусно!»). Внушалось ощущение легкости и полета («Ваши руки — крылья! Взмахните руками, летите!»). Внушались положительные и отрицательные галлюцинации, изменение возраста, повторное чтение книг, прочитанных ранее, гипермнезия и амнезия.

Количество лиц, у которых наяву реализовывались такие

внушения, колеблется от 8 до 12 %, т. е. такое же, как для традиционного гипноза. Хотя полученное внушенно измененное состояние сознания по реализуемым внушениям соответствует третьей сомнамбуле (III_3 по шкале Е. С. Каткова), имеются также существенные отличия. Прежде всего нет «отсутствующего выражения лица» и «взгляда вдаль», характерных для традиционного и аллертного гипноза, а также нет «мутности и влажности глаз», характерных для третьей сомнамбулы. Глаза и лица наших испытуемых имеют обычное выражение, свойственное бодрствующему человеку. Испытуемые сохраняют инициативность, активность и критику, а главное, профессиональную пригодность. Умственная работоспособность у наших испытуемых не подавлена, как в традиционном гипнозе, а наоборот, несколько повышена. При любой деятельности испытуемые подчеркивают ясность ума, хорошую сосредоточенность и положительные эмоции. Вне пределов действия заданных внушений испытуемые четко ориентируются в окружающем. Таким образом, в отличие от гипнотических галлюцинаций у наших испытуемых галлюцинации образуют единую систему с реальной действительностью, органически вписываясь в нее. Возникает своеобразная «мозаика» из реальности и галлюцинаций, гипермнезии и амнезии. Причем «мозаика» надежно управляемая, из которой легко можно конструировать лабораторные модели проблемных ситуаций, создающие полную иллюзию реальности с участием психогенных факторов (большая ответственность, опасность для жизни и др.), а также ситуации, максимально благоприятствующие обучению или операторской деятельности.

Основным критерием достижения уровня измененности сознания, при котором возможно такое же программирование, как в гипнозе, является получение тотальной спонтанной или внушенной амнезии. Действительно, наличие амнезии даже в бодром статусе позволяет осуществлять формирование и кодификацию неосознаваемых психологических автоматизмов, а также психофизиологических состояний, иными словами, создавать или перестраивать у испытуемого фиксированную психологическую установку в смысле Д. Н. Узнадзе. Коды, введенные под амнезию, т. е. на неосознаваемый уровень, позволяют, во-первых, получать само измененное состояние сознания оперативно, без повторной длительной процедуры его формирования, а также запускать развертывание сформированных программ, во-вторых, осуществлять корректировку старых или формирование новых программ также под амнезию и с кодификацией.

На этом этапе тренировки испытуемому может быть передан частичный или полный кодовый ауторапорт, что позволяет ему аутогенно (самому) управлять вложенными в него программами и своим психофизиологическим состоянием, но значительно глубже, чем это позволяет традиционная психическая

саморегуляция (ПСР). Характерно, что после тренировок в такой форме внушенно измененного состояния сознания и тем более после передачи ауторапорта у испытуемых, имевших повышенную начальную гипнабильность, вырабатывается невосприимчивость к посторонним (не кодифицированным) внушениям и особенно к гипнозу.

Поскольку полученное внушенно измененное состояние сознания, по крайней мере, в феноменологическом плане отличается от описанных, в том числе от ПСР, пост- и аллертного гипноза, мы сочли возможным присвоить ему условное наименование — состояние повышенной суггестивности (СПС) [6].

СПС является суггестивно измененным состоянием сознания, которое характеризуется наличием бодрого статуса в сочетании с кодифицированной гетеро- и аутоповышенной внушаемостью.

СПС достигается в результате системообразования доминант последовательным снятием антисуггестивных барьеров путем внушения иллюзий по всем каналам восприятия — сенсомоторному, зрительному, тактильному, обонятельному, вкусовому, слуховому — до получения сложных положительных и отрицательных галлюцинаций, в том числе с феноменами изменения «возраста» и «темпа времени», пока не будет получена амнезия.

Другая форма суггестивно измененного состояния сознания, сопровождающаяся бодрым статусом, разработана для суггестивно-программированного обучения языкам в Одесской консерватории. После доклада врача А. А. Вострикова об этой разработке и нашего доклада о СПС на второй конференции по психической саморегуляции (Алма-Ата, 17—19 июля 1975 г.) возникло впечатление об идентичности наших разработок, поэтому по предложению А. А. Вострикова в последовавших его [8] и наших [7] публикациях была использована абревиатура ОССП (особо-суггестивное состояние психики). Однако дальнейший сравнительный анализ показал существенные различия результатов этих разработок как в методическом, так и в феноменологическом планах.

Действительно, значительным преимуществом ОССП по сравнению с СПС является снижение трудоемкости его получения за счет использования самотренировок обучающихся. С этой целью каждое упражнение, освоенное при помощи гетеросуггестивного императивного раппорта, сразу же передается на ауторапорт. Однако в результате того, что бо́льшую часть всех тренировок обучаемые ОССП проводят аутогенно с формулами самовнушений, активизирующими сознание, они не приобретают навыков управления неосознаваемым. Как показали эксперименты, проведенные в Одессе с испытуемыми А. А. Вострикова, ОССП сопровождается активизацией эйдетических представлений и переживаний, которые никак не уда-

ется усилить до уровня галлюцинаций так же, как не удается, не разрушив само ОССП, получить амнезию.

Следовательно, ОССП не предоставляет возможности формирования и кодификации неосознаваемых психических автоматизмов и такого глубокого программирования психофизиологического состояния, как это удается в постгипнозе или СПС.

Обращаем особое внимание, что ауторапорт в СПС передается только после окончания формирования этого состояния и полностью отработанных методик управления неосознаваемым. В этом состоит коренное отличие ОССП от СПС, которое основано на сравнительно бо́льшем проникновении последнего в неосознаваемое.

Таким образом, все описанные в работе [7] феномены и методики могут быть получены в СПС, некоторые также и в постгипнозе, но поскольку в ОССП отсутствует амнезия, то в этом состоянии реализовать методики, описанные в [7], не удается. Например, в СПС, также как и в постгипнозе, можно управлять непроизвольной концентрацией внимания, осуществлять репродуцирование психофизиологического состояния оператора и событий с ним как в исследовательских целях, так и для разбора аварийных и нештатных ситуаций, удается стимулировать повышение умственной и физической работоспособности, а также поддерживать работоспособность при лишении сна (в СПС опробовано до 5 суток), изменять индивидуальный темп времени (в СПС опробовано в 2—3 раза).

Кроме постгипнотических феноменов, описанных в [2], специфика СПС, как показали наши эксперименты, позволила разработать ряд методик для исследования хода параллельных психических процессов, соответствующих осознаваемому и неосознаваемому компонентам внутренней психической реальности, а также для кодового на них воздействия [7]. В области эргономического обеспечения сложных человеко-машинных систем такие методики применимы для управления вниманием оператора и снижения монотонии, экспериментальных исследований психологических закономерностей протекания мыслительных, мнемических и перцептивных процессов в условиях интенсивного информационного взаимодействия, в том числе для исследований оперативных образов, изучения динамики формирования информационной и концептуальной моделей, а главное, для исследований процессов формирования многоплановых коллективных психических моделей сложных ситуаций (задачи, которые сформулированы В. Ф. Вендой [9, с. 64]), а также в целях исследований психологических механизмов формирования мыслительных операций и понятий в процессе обучения и т. д.

Разработанные нами методики, выявляющие информацию с осознаваемого и параллельных ему нескольких уровней неосознаваемого, основаны на специфической для СПС возмож-

ности получать от оператора по коду неосознаваемые вербальные и графические самоотчеты. В отличие от известного метода «мышления вслух» [10], оператор в СПС не осознает своих высказываний, вследствие чего процесс вербализации не создает скованности, не отвлекает от операторской деятельности и не тормозит процесс принятия решения. Графические самоотчеты состоят в том, что оператор, не осознавая этого, автоматически кратко маркирует надписями и зарисовками возникающие у него образы, ощущения и связки мыслей. Наши эксперименты показали, что одновременные вербальный и графический самоотчеты возможно использовать как два независимых канала вывода информации с осознаваемого и неосознаваемого уровней или с разных слоев неосознаваемого.

После выхода оператора из проблемной ситуации по каждой надписи или зарисовки, используя СПС, получают «возврат в прошлое», т. е. полную репродукцию той внутренней психической реальности и того психофизиологического состояния, в котором он находился. Теперь испытуемый имеет достаточное время, чтобы более полно вербализовать осознаваемые и неосознаваемые мысли и образы, которые возникали у него в процессе принятия решения в проблемной ситуации. Аналогичный эффект дают предъявления в СПС фрагментов вербального самоотчета и некоторой вырезки из общей картины проблемной ситуации, соответствующей окрестности точки, на которой в интересующий нас момент времени фиксировал свой взгляд оператор.

Однако перспективность СПС заключается не только в возможности выявления неосознаваемых эвристик и синхронного им дискурсивного мышления. Главная ценность СПС состоит во впервые выявленной нами возможности непосредственного управления творчеством. Действительно, все эффективные новые стратегии или неизвестные ему закономерности объектов, включенных в проблемную ситуацию, оператор находит на каких-то уровнях неосознаваемого. Как правило, логическая цепь при этом терпит разрыв. Субъективно момент осознания решения переживается как «инсайт», т. е. внезапное озарение, схватывание элементов ситуации в тех связях и отношениях, которые обеспечивают решение проблемы. Все известные способы повышения эффективности принятия решения в любой области творчества, такие как «брейн-шторминг», «синектика», ИПИД были основаны на различных приемах организации процедур совещаний, при помощи которых к о с в е н н о пытаются ускорить «перекачку» в сознание неосознаваемых информационных конструктов [11].

Эксперименты показали, что прямым и более эффективным возмущающим воздействием, способным «вышибить из порочного круга» при наличии тупика в дискурсивном мышлении, особенно в нештатных и аварийных ситуациях, является «пере-

мещение» на осознаваемый уровень случайных выборок из вербальных и графических самоотчетов, выявляемых с различных уровней неосознаваемой компоненты внутренней психической реальности оператора в процессе принятия им решения. Субъективно оператор переживает каждый момент такого осознания образа из неосознаваемой сферы, как инсайт [7].

Расширяя понятие сложной человеко-машинной системы на науку в целом, следует отметить особую актуальность подхода с эргономических позиций к вопросам организации научного творчества. Науковеды выявили экспоненциальный закон развития науки (удвоение каждые 15 лет), «закон кристаллизации» (с ростом коллектива все бо́льшая часть работы выполняется все меньшим числом людей) и, наконец, приближение кризиса в связи с противоречием между потребностью расширения научных знаний, которое пока происходит только за счет наращивания числа ученых и материальной базы науки — с одной стороны, и ограниченностью интеллектуального потенциала и материальных ресурсов общества — с другой («потолок Прайса»). Состояние дел в науке «близко к выскребанию со дна котла». Дальше так продолжаться не может, ибо через 30 лет наука (например, в США) потребует суммы, вдвое превышающей размер национального дохода, в то время как замедление технологического роста из-за ограничения темпов развития науки означало бы даже не застой, а начало регресса всей цивилизации.

Предотвратить такой глобальный кризис возможно, если найти более эффективные принципы добывания новых идей [11]. Иными словами, одна из главенствующих проблем современной науки и научно-технической революции — это проблема повышения эффективности творчества! Авторы выражают надежду, что СПС, а также основанные на этой активной форме суггестивно измененного состояния сознания методики изучения и управления творчеством создадут некоторые предпосылки для решения этой проблемы.

Список литературы: 1. *Cramer E. H.* Aircraft accident investigation and Hypnotic recall.— Aerospace Med., 1964, 35, p. 385—387. 2. *Гримак Л. П.* Моделирование состояний человека в гипнозе.— М.: Наука, 1978.— 272 с. 3. *Sharpe Mithehell R.* Living in Spach. The astronaut and his environment.— New York, 1969.—210 p. 4. *Banyai Eva I.* and *Hilgard Ernest R.* Acomparison of Active — Alert Hypnotic Induction with Traditional Relaxation Induction.— Journ of Abnormal Psychology, 1976, 85, № 2, p. 218—224. 5. *Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Карев А. В.* Использование гипно- и аутосуггестии для программирования мыслительной деятельности в научном творчестве и обучении.— В кн.: Биокибернетика, моделирование биосистем, бионика. Материалы IV Респ науч. конф. К., 1970, с. 119. 6. *Іллінська Л. С.* Підвищення ефективності навчання шляхом застосування спеціального комплексу технічних засобів і нових методик.— У кн.: Тези наради-семінару викладачів пединститутів на тему «Удосконалення навчально-виховного процесу в педвузі шляхом застосування технічних засобів навчання». Київ, 1978, с. 111—113. 7. *Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Коров А. В.* Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека.— Проблемы бионики, 1979, вып. 29, с. 110—116.

1980, вып. 24, с. 93—100; вып. 25, с. 58—66. 8. *Вострикова А. А.* Особенности использования внушения в суггестопрограммированьом методе обучения.— Взаимосвязь осознаваемых и неосознаваемых компонентов психики в педагогическом процессе, 1979, с. 98—103. 9. *Инженерная* психология / Под. ред. Б. Ф. Ломова.— М.: Наука. 1977.—304 с. 10. *Дункер К.* Психология продуктивного (творческого) мышления.— В кн.: Психология мышления. М.: Прогресс, 1965, с. 86—239. 11. *Проблемы* управления интеллектуальной деятельностью. Психоэвристическое программирование / Под ред. В. В. Чавчанидзе.— Тбилиси: Мецниереба, 1974.—369 с.

Поступила в редколлегию 02.03.82.

УДК 510.62

В. С. МАКСИМОВА

СИНТАГМАТИКА КОМБИНАТОРНЫХ АНСАМБЛЕЙ ДИСКРЕТНЫХ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

Результаты исследований закономерностей звуковых последовательностей естественного языка важны при электроакустическом анализе каналов связи для оценок, распознавания, синтеза и передачи речевой информации.

Дискретные звуковые единицы последовательно распределяются во времени, но в физическом речевом сигнале соседние звуки налагаются друг на друга, смещаются, изменяют свой характер. Часто определяющие признаки звука содержатся не в характеристике данного звука, а в характеристике окружающих его звуков. Наиболее информативны в этом смысле соседние гласные. Важен тот факт, что один и тот же физический звук в разных позициях и сочетаниях несет в себе различные физические корреляты. Таким образом, при исследованиях фонетических закономерностей звуковых последовательностей речевой информации целесообразно использовать звуковые сочетания, а не отдельные звуки.

Сочетаемость звуков в потоке речи образует синтагматику фонетических единиц. Синтагматика имеет свои законы, которые связаны с потенциально возможными сочетаниями звуковых единиц данного языка и потенциально невозможными ограничениями в сочетаемости звуковых единиц друг с другом. Принципы потенциально возможных фонетических сочетаний звуковых единиц (соответствий) имеют силу как в пределах исконно русских слов, так и в словах заимствованных. Включение единиц и сочетаний другой системы звуковых единиц языка недопустимо, так как накладывает другие взаимосвязи и отношения в реализации фонем, артикуляционных возможностей, не свойственных данному языку.

Здесь представлены потенциально возможные 2-буквенные сочетания русского и английского современных литературных языков.

Комбинаторные ансамбли данных дискретных лингвистических единиц поданы независимо от их положения в слове (в середине морфа или на стыке их), а именно сочетаниями: буква—буква, буква—цифра, буква—разделительный знак; цифра—буква, цифра—цифра, цифра—разделительный знак; разделительный знак—буква, разделительный знак—цифра; разделительный знак—разделительный знак. Список символов русского языка состоит из 31 знака (без «ъ» и «ё») из цифр 0—9, разделительных знаков: «.», «,», «:», «—», «?», «!», «)», «—», «—». Всего 50 символов. Каждый символ нумеруется от 0+50. Из этих символов составлен «матричный квадрат» сочетаний.

Матрица заполняется таким образом, что если вероятность потенциально возможного сочетания 2-х символов равна единице, то на пересечении L-строки и K-столбца стоит единица, а если рассматриваемое фонетическое сочетание невозможно в русском языке, т. е. вероятность потенциально возможной сочетаемости данных 2-х символов равна нулю, то на пересечении L-строки и K-столбца стоит 0. Таким образом, получен матричный квадрат с фиксированными связями. Был поставлен эксперимент на ЭВМ серии ЕС-1050. Сочетания, не зафиксированные в матрице, воспринимаются как сбойные. Для проверки правильности и работоспособности метода был введен произвольный русский текст. Далее эксперимент был усложнен.

Известно, что в системе передачи информации и информационных системах существует множество вариантов кодирования и шифрования информации. Техническая сторона этого вопроса не рассматривается в данном случае. В эксперименте был использован шифр Цезаря, применяемый в системах связи [2]. Он представляет собой простую перестановку, в которой каждая буква сообщения сдвигается на фиксированное число мест вперед по алфавиту. Это число называется ключом. Таким образом, текст произвольного русского текста был зашифрован. Информация, представленная в таком виде, называется криптограммой. Криптограмма проверялась на матрице сочетаний, зашифрованной также кодом Цезаря. Анализируемое произвольное сообщение на русском языке, соответствующее закономерностям синтагматики комбинаторных ансамблей дискретных лингвистических единиц русского литературного языка, выдается на печать или в зашифрованном виде хранится в памяти.

Далее были проведены аналогичные исследования синтагматики комбинаторных ансамблей дискретных лингвистических единиц английского современного литературного языка. Список символов английского языка состоит из 27 знаков и трех разделительных знаков: «.», «,», « —». Получен матричный квадрат с фиксированными связями языка, организованный

аналогично исследованиям русского языка. Размер данной матрицы 30×30 единиц текста. В эксперименте с синтагматикой английского языка применялся модифицированный шифр Виженейра — шифр Вернама. В этом шифре ключ задается произвольным набором из $n=1$—20 букв. Кодировка в этом случае осуществляется путем суммирования по модулю 30 первых букв ($L_1=5$) с помощью ключа, а остальных (начиная с L_1+1 буквы) — с помощью самого сообщения (начиная с 1 до $M-L_1$ буквы сообщения). Это так называемый шифр «бегущего ключа». После анализа сообщений на матричном квадрате соответствий сообщение выдается на печать в зашифрованном (цифровом) или расшифрованном (английском языке) виде.

Выделение области потенциально возможных сочетаний звуковых единиц естественного языка и потенциально невозможных — области ограничений — существенно облегчает задачу анализа речевой информации. Наложение этих ограничений на синтез слова, языка максимально приближенного к естественному, делает его интерпретации более адекватными естественному языку, а математические модели лингвистических процессов более эффективными, гибкими, однозначно соответствующими процессам, протекающим в естественном языке.

Список литературы: 1. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О теории интеллекта.— Проблемы бионики, 1979, вып. 22, с. 3—11. 2. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике.— М.: Изд-во иностр. лит., 1963.— 200 с. 3. *Шанский Н. М., Иванов В. В.* Современный русский язык.— М.: Наука, 1981.— 340 с. 4. *Дикушина О. И.* Фонетика английского языка.— М.: Изд-во иностр. лит., 1952.— 120 с.

Поступила в редколлегию 05.04.82.

СОДЕРЖАНИЕ

Шабанов-Кушнаренко Ю. П. О решении уравнений теории интеллекта. 3
Бондаренко М. Ф., Буркова Н. М. Математическая модель непроизводных глаголов русского языка 8
Шаронова Н. В., Бузницкая Э. М. О структуре системы признаков при моделировании словообразования 12
Маленченко С. И. Алгоритм перечисления клик графа 20
Чижов А. Ю., Смирнов Б. А. Об одном способе оценки состояния зрительного или слухового анализаторов оператора 25
Маленченко З. Ю., Прасол Г. А. О моделировании связей между звуковой и текстовой формами речевого сообщения 29
Тух А. И. Значимость информации и психодинамическая модель. (Теория среднего) 37
Галактионов А. И., Янушкин В. Н. Оптимизация оперативной и априорной информации — основная задача инженерно-психологического проектирования (обеспечения) АСУ 44
Лукьянова О. Н., Шермаревич М. Г., Тулупа Э. П., Кузьмина К. И., Семик Т. М. Биотехническая автоматизированная система для контроля и управления состоянием человека-оператора . . 49
Ананин В. Ф. О механизме регуляции центральной системы кровообращения. *Сообщение 3* 55
Лебедева Н. И. Средства управления процессом формирования эффективных мыслительных стратегий 65
Фролова И. Е., Либерг И. Г. К вопросу о диагностировании сложных систем 69
Бестужева А. Н., Зыкина Н. Н., Юхтенко В. А. Автоматизация оценки эргатических систем в задачах эргономического обеспечения. 76
Сенченко Н. И., Милосердов В. Б. Алгоритмы установления соединений в коммутационных системах аналоговых процессоров ГВС 80
Мызь А. Н., Дербунович Л. В. Контрольные эксперименты с объектами, допускающими декомпозицию 88
Колотенко Г. А., Ахмедов Т. И. Доминантные вариабельные пространственно-временные организации потенциалов головного мозга человека 96
Дементьев И. В. Эргономические и инженерно-психологические основы безопасности труда 103
Петрух А. В., Санагурский Д. И., Гойда Е. А., Кусень С. И., Врецьона Т. П. Оценка трансмембранного потенциала развивающихся зародышей вьюна посредством корреляционных функций 108
Балабай В. И., Стариков В. М. К вопросу оценки освояемости АСУ на ранних этапах их проектирования 114
Людвичек К. В., Алексеев В. Е., Иванов В. И. Метод исследования качества функциональных взаимодействий в группе операторов эрготехнических систем 119
Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Любиев А. И. Внушенно измененные состояния сознания и эффективность деятельности операторов сложных человеко-машинных систем. *Сообщение 1* . . 121
Максимова В. С. Синтагматика комбинаторных ансамблей дискретных лингвистических единиц 128