

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

## **ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ**

---

**Республиканский  
межведомственный  
научно-технический  
сборник**

**Основан в 1968 г.**

**ВЫПУСК 36**

**ХАРЬКОВ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
«ВИЩА ШКОЛА»  
1986**

**Проблемы бионики:** Респ. междувед. науч.-техн. сб.—Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986.— Вып. 36. 145 с.

Сборник содержит результаты бионических исследований процессов переработки информации человеком. Рассмотрены новые аспекты интеллектуальной деятельности, средства формального описания и способы ее воспроизведения. Предложены модели некоторых сенсорных систем при обработке зрительных образцов и речевых сигналов и пути их реализации на ЭВМ.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1986 г. Для научных работников, специалистов.

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

*Адрес редакционной коллегии:* 310141, Харьков-141, пр. Ленина, 14, Институт радиоэлектроники, тел. 43-93-66

Редакция естественнонаучной литературы

## ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Выпуск 36

Редактор *А. П. Гужва*  
Художественный редактор *В. Е. Петренко*  
Технический редактор *Г. П. Александрова*  
Корректор *Л. В. Варавина*

Информ. бланк № 10340

Сдано в набор 05.09.85. Подп. в печать 10.01.86. БЦ 08510. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага книжно-журн. Лит. гарн. Выс. печать. 9 печ. л. 9,25 кр.-отт. 10 уч.-изд. л. Тираж 700 экз. Изд. № 1389. Зак. 5-369. Цена 1 р. 40 к.

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

Харьковская книжная фабрика «Коммунист», 310012, Харьков-12, ул. Энгельса, 11.

П  $\frac{1502000000-012}{M226(04)-86}$  467-86

© Издательское объединение «Вища школа», 1986

*С. Н. ГРИНЧЕНКО*, канд. техн. наук, *С. Л. ЗАГУСКИН*,  
канд. биол. наук

## **МОДЕЛЬ РЕЦЕПТОРНОЙ ЗОНЫ ЖИВОЙ КЛЕТКИ.**

### *СООБЩЕНИЕ 1*

---

**Постановка задачи.** Проблема создания адекватных моделей живых клеток различных специализаций и их подсистем остается актуальной. Такие разработки можно рассматривать в качестве начального этапа синтеза систем искусственного интеллекта и адаптивных управляющих систем роботов, осуществляемых на бионической основе.

Первым объектом, который попал в сферу внимания исследователей, решавших указанную проблему, был нейрон. Но в силу специфичности этого типа клеток результаты, полученные с помощью его моделирования, носили ограниченный характер и не позволяли обобщать их на поведение иных типов клеток — мышечных, эпителиальных, печени и т. п. В связи с тем, что модельные исследования последних могут дать важные результаты для решения данной проблемы, мы предлагаем от создания спектра моделей частных типов клетки перейти к созданию единой модели универсальной живой клетки (возможно, никогда не наблюдавшейся в полном объеме своих свойств), т. е. реализовать «цитобибернетический» подход [1]. Эта модель должна только посредством изменения своих коэффициентов — параметров (но не структуры!) обеспечивать перенастройку в целях воспроизведения любого специализированного типа клетки.

В свое время трудности, стоящие на пути создания детальной модели внутренней структуры нейрона, привели к декомпозиции задачи. Подробно была рассмотрена его постсинаптическая зона [1], в частности постсинаптические механизмы обучения, отражающие совместное влияние электрического, энергетического и пластического каналов обработки информации в нем.

Аналогичный подход применен нами и при создании модели живой клетки. В статье описывается модель ее рецепторной зоны, которая соответствует постсинаптической зоне в нервной

клетке. В основу работы положены принципы энергетической параметрической регуляции ритмов пластических и функциональных процессов в живой клетке, кальциевого энергетического сопряжения внутриклеточных процессов, рассмотрения клетки как активной системы, непрерывно оптимизирующей свою структуру, чтобы достичь экстремум некоторого целевого критерия энергетического характера по алгоритмам случайного поиска [2—4], и обобщение многочисленных фактов литературы.

Так, анализ имеющихся фактов показал, что ни одна из описанных в литературе моделей подсистемы рецепции тех или иных типов клетки не отражает ряда важных ее характеристик. В частности, они не обеспечивают воспроизведения креаторной функции, межклеточного влияния с помощью митогенов, кейлонов и других немедиаторных веществ и влияний отклонений характеристик внешней среды, не воспроизводят зависимости рецепторной функции клетки от первичного и вторичного обмена углеводов и липидов, энергии основного обмена, условий роста и деления клетки, особенностей ее микроструктуры и пластического обмена.

Цель настоящей работы — воспроизведение адаптационных механизмов, временной селекции и классификации внешних сигналов как медиаторной, так и макромолекулярной природы, оценки их привычности по соотношению функциональных, энергетических, пластических сдвигов и устойчивости микроструктуры.

Введем для входных, основных внутренних и выходных переменных модели следующие обозначения:

$b_A^{(j)}$  — интенсивность транспорта макромолекул белка, поступающего в  $j$ -ю рецепторную зону ( $j$ -PЗ) из соседней клетки;

$c_{мт}$  — кальциевая емкость микротрубочек клетки;

$c_{мх}$  — кальциевая емкость митохондрий клетки;

$c_p$  — кальциевая емкость ретикулюма клетки;

$E_{рз}^{(j)}$  — регуляторная энергия (индуцированная внешним функциональным воздействием) в  $j$ -PЗ;

$E_{рз}^{(f)}$  — функциональная индуцированная энергия в  $j$ -PЗ;

$H_1$  — интенсивность синтеза углеводов первичного обмена в клетке;

$H_2$  — интенсивность синтеза углеводов вторичного обмена в клетке;

$L_1$  — интенсивность синтеза липидов первичного обмена в клетке;

$L_2$  — интенсивность синтеза липидов вторичного обмена в клетке;

$M^{(h)}$  — концентрация медиатора, поступающего на  $j$ -й участок рецепторной мембраны клетки;

$P_{дел}$  — параметр процесса деления клетки;

- $P_p^{(E)}$  — параметр реверсии потоков индуцированной энергии в клетке;
- $r$  — интенсивность оперативной трансляции в клетке;
- $t_0$  — отклонение (от нормального значения) неспецифического воздействия физической природы на клетку;
- $t_1$  — отклонение (от нормального значения) воздействия на клетку со стороны внешней ионной среды;
- $t_2$  — отклонение (от нормального значения) парциального давления кислорода внутри клетки;
- $t_3$  — отклонение (от нормального значения) концентрации субстратов энергетического метаболизма внутри клетки;
- $t_4$  — отклонение (от нормального значения) концентрации аминокислот внутри клетки;
- $t_6$  — отклонение (от нормального значения) креаторного воздействия на клетку (веществ типа белков и пептидов);
- $x^{(j)}$  — трансмембранный потенциал на  $j$ -м участке рецепторной мембраны клетки;
- $a_m^{(j)}$  — локальная концентрация кальция, входящего в  $j$ -РЗ клетки через мембрану;
- $\Delta a_{\text{мх}}^{(j)}$  — приращение локальной концентрации свободного кальция за счет высвобождения из митохондрий в  $j$ -РЗ;
- $\Delta a_{\alpha}$  — приращение локальной концентрации свободного кальция за счет высвобождения из органоидов  $j$ -РЗ;
- $\delta^{(j)}$  — степень агрегации ретикулума  $j$ -РЗ;
- $\delta_0^{(j)}$  — генетически заданный уровень агрегации ретикулума в  $j$ -РЗ;
- $\Delta \delta^{(j)}$  — отклонение степени агрегации ретикулума в  $j$ -РЗ от ее генетически заданного значения;
- $\gamma^{(j)}$  — специфическая чувствительность  $j$ -го участка мембраны, обусловленная рецепторными белками в  $j$ -РЗ;
- $\gamma_0^{(j)}$  — генетически заданная специфическая чувствительность  $j$ -го участка рецепторной мембраны;
- $\eta^{(j)}$  — «коэффициент адаптации»  $j$ -РЗ;
- $\mathcal{E}_6$  — энергия основного обмена, обеспечивающая синтез белков в клетке;
- $\mathcal{E}_{\text{РЗ}}^{(j)}$  — энергия основного обмена, потребляемая в  $j$ -РЗ;
- $\mathcal{E}_{\text{РЗ}}^{p(j)}$  — регуляторная энергия основного обмена в  $j$ -РЗ;
- $\mathcal{E}_{\text{РЗ}}^{\phi(j)}$  — функциональная энергия основного обмена в  $j$ -РЗ;

Предлагаемая модель  $j$ -РЗ живой клетки достаточно сложна, но она позволяет продолжить декомпозицию задачи — довольно естественным образом разделяется на пять подсистем: модель  $j$ -го локального участка рецепторной мембраны; модель механизма временной селекции внешних сигналов; модель пластического механизма адаптации; модель механизма регуляции микроструктуры; модель механизма распределения энергии. Рассмотрим подробнее их структуру и поведение.

Модель  $j$ -го локального участка рецепторной мембраны живой клетки («Модель-1»). Задача модели-1 — обеспечить воспроизведение электрохимических механизмов ионного транспорта, генерации трансмембранного потенциала и их зависимости от энергетических и пластических процессов в  $j$ -й рецепторной зоне. Введем дополнительно для внутренних переменных модели-1 обозначения:

$M^{(j)}$  — концентрация медиатора, воспринятого  $j$ -м участком рецепторной мембраны клетки;  $m^{(j)}$  — ионный ток через  $j$ -й участок рецепторной мембраны клетки, индуцированный медиаторным воздействием;  $\tilde{m}^{(j)}$  — результирующий ионный ток через  $j$ -й участок рецепторной мембраны клетки;  $p_c^{(j)}$  и  $p_d^{(j)}$  — соответственно статический и динамический пороги чувствительности  $j$ -го участка рецепторной мембраны клетки к специфическому воздействию;  $\alpha^{(j)}$  — локальная концентрация свободного кальция, высвободившегося из органоидов  $j$ -РЗ;  $\zeta^{(j)}$  — коэффициент передачи (усиления) надпорогового специфического воздействия  $j$ -м участком рецепторной мембраны;  $E^{(j)}$  — уровень шумовых флуктуаций ионного тока через  $j$ -й участок рецепторной мембраны клетки;  $P^{(j)}$  — порог чувствительности  $j$ -го участка рецепторной мембраны клетки к специфическому воздействию.

Принцип работы модели-1 заключается в следующем. На ее входы подаются величины:  $M^{(j)}$  (ее знак определяет тип медиатора: плюс — возбуждающий медиатор, минус — тормозящий),  $c_{MT}$ ,  $t_1$  (его положительное значение реализует деполяризацию, а отрицательное — гиперполяризацию  $j$ -РЗ),  $t_6$ ,  $E_{PZ}^{(j)}$  (определяемая активностью К, Na-АТФ-азы),  $\gamma^{(j)}$  и  $\Delta\alpha_3^{(j)}$ . Выходами модели-1 являются значения  $x^{(j)}$  и  $\alpha_m^{(j)}$ .

Значение  $M^{(j)}$  преобразуется в  $\check{M}^{(j)}$  следующим образом (параметром этого преобразования является  $\gamma^{(j)}$ ):

$$\check{M}^{(j)} = |M^{(j)}| \Gamma(M^{(j)}\gamma^{(j)}) + \frac{|M^{(j)}|}{K_{11}^{(j)}|\gamma^{(j)}| + 1} \Gamma(-M^{(j)}\gamma^{(j)}),$$

где  $\Gamma(\cdot)$  — единичная функция Хэвисайда;  $K^{(j)}$  — коэффициент. Смысл формулы следующий: если  $M^{(j)}$  и  $\gamma^{(j)}$  одного знака, то  $\check{M}^{(j)} = |M^{(j)}|$ ; если они имеют разные знаки, то  $\check{M}^{(j)} = \frac{|M^{(j)}|}{K_{11}^{(j)}|\gamma^{(j)}| + 1}$ . Таким образом, во втором случае с увеличением

(в процессе самообучения  $j$ -РЗ)  $|\gamma^{(j)}|$  значение  $\check{M}^{(j)}$  стремится к нулю независимо от значения  $|M^{(j)}|$ ; у «необученной»  $j$ -РЗ значение  $|\gamma^{(j)}| \approx 0$ , и преобразование будет иметь вид  $\check{M}^{(j)} \approx M^{(j)}$ . Другими словами, эффект обучения  $j$ -РЗ клетки состоит в ее долго-

временной адаптации к воздействию  $M^{(j)}$  в результате соответствующего изменения  $\gamma^{(j)}$ .

Концентрация медиатора  $\check{M}^{(j)}$ , воспринятого  $j$ -м участком рецепторной мембраны, преобразуется в  $\alpha_m^{(j)}$  с некоторой инерционностью:  $\alpha_m^{(j)} = F_1(\check{M}^{(j)} | 1, \tau_{11}^{(j)})$ .

Здесь  $F_1(x | k, t)$  — оператор инерционности во времени (1-го рода, с аperiodическим характером переходного процесса);  $x$  — входное воздействие;  $k$  — коэффициент передачи (усиления);  $t$  — постоянная времени переходного процесса, причем

$$\tau_{11}^{(j)} = \frac{K_{12}^{(j)}}{1 + K_{13}^{(j)} \check{M}^{(j)}},$$

т. е. постоянная времени инерционности, с которой сглаживаются изменения величины  $\check{M}^{(j)}$ , зависят от ее собственного значения.

Значение  $\alpha_m^{(j)}$ , отражающее уровень активации аденилатциклазы и интенсивность синтеза цАМФ в  $j$ -РЗ [5], далее преобразуется следующим образом. Оно дифференцируется по времени, причем характеристики этого оператора определяют его как неидеальное дифференцирование 2-го рода, т. е. с колебательным характером изменения заднего фронта дифференцирующего импульса (реакции на входное единичное воздействие):

$$\dot{\alpha}_m^{(j)} = D_2(\alpha_m^{(j)} | 1, \tau_{12}^{(j)}, \tau_{13}^{(j)}),$$

где  $D_2(x | k, t_1, t_2)$  — оператор дифференцирования 2-го рода;  $x$  — входное воздействие;  $k$  — коэффициент передачи;  $t_1$  — период колебаний заднего фронта дифференцирующего импульса;  $t_2$  — постоянная времени огибающей этих колебаний.

Далее значение  $\dot{\alpha}_m^{(j)}$  выпрямляется, т. е. отрицательные полуволны заднего фронта дифференцирующего импульса срезаются. В результате вырабатывается значение  $p_d^{(j)}$ , которое является динамической составляющей порога чувствительности  $j$ -го участка мембраны. Статическая же его составляющая  $p_c^{(j)}$ , зависящая от  $\tilde{\alpha}^{(j)}$ , определяется следующим образом:

$$p_c^{(j)} = \frac{k_{15}^{(j)}}{1 + k_{16}^{(j)} |\tilde{\alpha}^{(j)}|}$$

Здесь  $\tilde{\alpha}^{(j)} = \Delta\alpha_\beta^{(j)} + k_{14}^{(j)}\gamma^{(j)}$ .

В результате значение порога  $\Pi^{(j)} = p_c^{(j)} + k_{17}^{(j)}p_d^{(j)}$  отражает факты понижения порога чувствительности  $j$ -го участка мембраны, происходящего при обучении клетки, и его кратковременного повышения — в момент прихода очередной порции медиатора (т. е. явления рефрактерности и облегчения) [6].

Кроме того,  $\tilde{\alpha}^{(i)}$  влияет и на значение коэффициента усиления:

$$\zeta^{(i)} = C_{\text{MT}} (1 + k_{18}^{(i)} t_1) (1 + k_{19}^{(i)} t_6) \tilde{\alpha}^{(i)}.$$

Вместе  $\Pi^{(i)}$  и  $\zeta^{(i)}$  определяют передаточную функцию  $\Phi^{(i)}$  преобразования переменной  $\alpha_m^{(i)}$  в значение  $m^{(i)}$ :

$$\Phi^{(i)} = \begin{cases} \zeta & \text{при } \alpha_m^{(i)} \geq \Pi^{(i)}; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

И наконец, значение  $\tilde{\alpha}^{(i)}$  является управляющим параметром генератора шумовых флуктуаций ионного тока, выход которого  $\Xi^{(i)}$  суммируется с  $m^{(i)}$ , давая  $\tilde{m}^{(i)}$ . Характеристику  $\Xi^{(i)}$  можно рассматривать в первом приближении как нормально распределенную случайную величину с нулевым матожиданием и дисперсией, пропорциональной  $\tilde{\alpha}^{(i)}$ ; она отражает влияние тепловых флуктуаций ионного тока, которые имеют место даже при отсутствии медиатора на входе модели. Увеличение концентрации свободного кальция  $\tilde{\alpha}^{(i)}$  вызывает разжижение протоплазмы, что приводит к увеличению амплитуды шумовых флуктуаций [7].

Далее  $\tilde{m}^{(i)}$  используется для выработки значения трансмембранного потенциала с учетом лимитирования последнего наличным уровнем  $E_{\text{PЗ}}^{\Phi(i)}$  энергетических запасов на генерирование локального рецепторного потенциала:

$$x^{(i)} = \begin{cases} -k_{110}^{(i)} E_{\text{PЗ}}^{\Phi(i)} & \text{при } \tilde{m}^{(i)} < k_{110}^{(i)} E_{\text{PЗ}}^{\Phi(i)}; \\ \tilde{m}^{(i)} & \text{при } -k_{110}^{(i)} E_{\text{PЗ}}^{\Phi(i)} \leq \tilde{m}^{(i)} \leq k_{110}^{(i)} E_{\text{PЗ}}^{\Phi(i)}; \\ k_{110}^{(i)} E_{\text{PЗ}}^{\Phi(i)} & \text{при } k_{110}^{(i)} E_{\text{PЗ}}^{\Phi(i)} < \tilde{m}^{(i)}. \end{cases}$$

Таким образом, модель-1 воспроизводит следующие основные особенности поведения структурно-метаболических механизмов рецепторной мембраны живой клетки, наблюдаемые в цитохимических экспериментах: влияние приращения локальной концентрации свободного кальция вблизи мембраны  $\Delta\alpha_j^{(i)}$  на изменение трансмембранного потенциала  $x^{(i)}$ ; участие мембранотропных белков, встроенных в рецепторную мембрану, в регуляции ее чувствительности к медиатору; влияние факторов внешней среды ( $t_1$ ,  $t_6$ ) и  $C_{\text{MT}}$  на величину трансмембранных ответов клетки; зависимость проводимости мембраны и порога ее возбуждения от емкости кальциевых депо микроструктур  $j$ -РЗ клетки; энергетическую зависимость и обусловленность функциональных процессов и трофики клетки, в частности, функцию К, Na-АТФ-азы и натриевого насоса; спонтанные флуктуации трансмембранного потенциала.

Модель механизма временной селекции внешних сигналов  $j$ -ПЗ живой клетки («Модель-2»). Задача модели-2 — обеспечить воспроизведение структурно-метаболических механизмов, обуславливающих колебания распределения внутриклеточного кальция. Введем дополнительно для внутренних переменных модели-2 обозначения:  $f^{(j)}$  — частота волн, входящих в  $j$ -ПЗ ионов кальция;  $f_{\text{мх}}^{(j)}$  — частота волн кальция, высвобождающегося из митохондрий  $j$ -ПЗ;  $f_{\delta}^{(j)}$  — частота волн высвобождения и связывания кальция глыбками ретикулума  $j$ -ПЗ;  $\tilde{\alpha}_m^{(j)}$  — локальная концентрация кальция у поверхностных мембран митохондрий  $j$ -ПЗ;  $\bar{\alpha}_m^{(j)}$  — локальная концентрация свободного кальция, связываемого митохондриями  $j$ -ПЗ;  $\varphi^{(j)}$  — коэффициент фильтрации внешних сигналов  $j$ -ПЗ.

Принцип работы модели-2 заключается в следующем. На ее входы подаются значения:

$$\alpha_m^{(j)}, t_0, H_1, \mathcal{E}_{\text{пз}}^{(j)}, \Delta\delta^{(j)}, \delta^{(j)} \text{ и } \eta^{(j)}.$$

Выходом модели-2 является  $\Delta\alpha_{\text{мх}}^{(j)}$ .

Значения  $\alpha_m^{(j)}$  и  $\bar{\alpha}_m^{(j)}$  связаны между собой функцией «задержки» на время  $\tau_{21}$ .  $\tilde{\alpha}_m^{(j)}$  — потенциально возможная локальная концентрация свободного кальция, связываемого митохондриями  $j$ -ПЗ, преобразуется в  $\bar{\alpha}_m^{(j)}$  следующим образом:

$$\bar{\alpha}_m^{(j)} = \begin{cases} \tilde{\alpha}_m^{(j)} & \text{при } \tilde{\alpha}_m^{(j)} \leq k_m^{(j)} \mathcal{E}_{\text{пз}}^r \\ k_{21}^{(j)} \mathcal{E}_{\text{пз}}^r & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Далее,  $\tilde{\alpha}_m^{(j)}$  дифференцируется по времени, давая в результате  $\Delta\alpha_{\text{мх}}^{(j)}$ , причем характеристики соответствующего оператора дифференцирования определяют его оператор неидеального дифференцирования 1-го рода, т. е. с аperiodическим характером изменения заднего фронта дифференцирующего импульса (реакции на единичное входное воздействие):

$$\Delta\alpha_{\text{мх}}^{(j)} = D_1(\tilde{\alpha}_m^{(j)} | \varphi^{(j)}, \tau_{22}^{(j)}),$$

где  $D_1(x | k, t)$  — оператор дифференцирования 1-го рода;  $t$  — постоянная времени заднего фронта дифференцирующего импульса. При этом  $\tau_{22}^{(j)}$  определяется следующим образом:

$$\tau_{22}^{(j)} = \frac{k_{22}^{(j)}}{1 + k_{23}^{(j)} H_1},$$

что отражает факты субстратного регулирования скорости генерации энергии [8].

Значение  $\alpha_m^{(j)}$  используется и для выработки  $f^{(j)} = k_{24}^{(j)} \alpha_m^{(j)}$ . Далее,  $f^{(j)}$  сглаживается с инерционностью 1-го рода, постоянная времени которой  $\tau_{23}^{(j)}$  определяется как  $\tau_{23}^{(j)} = k_{25}^{(j)} \eta^{(j)} \varphi^{(j)}$ . Явление сглажи-

вания  $f^{(i)}$  с переменной постоянной времени  $\tau_{23}^{(i)}$  связано с феноменом зависимости транспорта кальция в митохондриях  $j$ -РЗ от концентрации кальция цитозоля [9].

Сглаженное значение  $f^{(i)}(F_1(f^{(i)}|\tau_{23}^{(i)}))$  связано с  $f_{\text{мх}}^{(i)}$  функцией задержки на время  $\tau_{24}^{(i)} = k_{26}^{(i)}(1 + k_{27}^{(i)}t_0)$ .

Значение  $f_{\delta}^{(i)}$  пропорционально входной переменной модели-2:  $\Delta\delta^{(i)}: f_{\delta}^{(i)} = k_{28}^{(i)}\Delta\delta^{(i)}$ .

В конечном итоге характеристики  $f_{\delta}^{(i)}$ ,  $\delta^{(i)}$ ,  $f_{\text{мх}}^{(i)}$  и  $f^{(i)}$  определяют коэффициент фильтрации  $\varphi^{(i)}$  следующим образом:

$$\varphi^{(i)} = \frac{1}{\frac{(f^{(i)})^4}{[(f^{(i)})^2 - (f_{\text{мх}}^{(i)})^2]^2} + \frac{k_{29}^{(i)}(\delta^{(i)})^2(f^{(i)})^4}{[(f^{(i)})^2 - (f_{\delta}^{(i)})^2]^2}}$$

что отражает феномен ослабления  $\Delta\alpha_{\text{мх}}^{(i)}$  из-за синхронизации колебаний кальция, обусловленных внешними и внутренними факторами [10].

Таким образом, модель-2 воспроизводит следующие основные особенности кальциевого механизма временной селекции внешних сигналов отдельной рецепторной зоны живой клетки, наблюдаемые в цитохимических экспериментах [5, 8, 9]: зависимость ритма и амплитуды высвобождения кальция из митохондрий, сопряженного с их энергопродукцией, от других внутриклеточных процессов, влияющих на уровень и динамику свободного кальция в  $j$ -РЗ клетки; зависимость транспорта кальция в митохондриях от субстратов окисления, исходного состояния энергетики, агрегации ретикулума, состояния рецепторной мембраны и других факторов.

- Список литературы:** 1. Загускин С. Л., Гринченко С. Н. Модель постсинаптических механизмов обучения.— Пробл. бионики, 1980, вып. 24, с. 40—49. 2. Загускин С. Л. Роль внутриклеточного кальция и энергетики нейрона в его адаптации к адекватным и фармакологическим воздействиям.— В кн.: Ультраструктура нейронов и фармакологические воздействия.— Пушкино, 1981, с. 37—44. 3. Загускин С. Л. Перераспределение внутриклеточных потоков энергии как санкционирующий фактор регенерации.— В кн.: Современные проблемы регенерации.— Йошкар-Ола, 1980, с. 191—195. 4. Загускин С. Л., Гринченко С. Н. Энергетические механизмы адаптации клетки.— Изв. Северо-Кавказ. науч. центра высш. шк., 1982, № 3, с. 84—89. 5. *Cyclic nucleotides and cellular calcium metabolism*/ H. Rasmussen, P. Jensen, W. Lake, N. Friedmann, D. B. Goodman. — Adv. Cyclic Nucl. Res., 1975, 5, p. 375—394. 6. Греченко Т. Н. Нейро-физиологические механизмы памяти.— М.: Наука, 1975.—168 с. 7. *Sjolin L., Grampp W. Membrane noise in slowly adapting stretch receptor neurone of lobster.*— Nature, 1975, 257, N 5528, p. 696—697. 8. *Loh H. H., Voljin P., Kun E. Regulation of mitochondrial metabolism by specific cellular substances.*— Biochemistry, 1968, 7, N 2, p. 407—417. 9. *Carafoli E. The calcium cycle of mitochondria.*— FEBS Lett., 1979, 104, N 1, p. 1—5. 10. Загускин С. Л.,

УДК 519.76 : 681.3

М. Ф. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, В. Л. НИКОЛАЕНКО

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ЩЕЛЕВЫХ СОГЛАСНЫХ В РЕЧЕВОМ СИГНАЛЕ

Данная работа является продолжением исследований речевых сигналов с использованием их «динамических портретов», начатых в [1] с целью построения алгоритмов автоматического выделения щелевых согласных в потоке речи.

Согласно [2] к щелевым согласным русского языка отнесем следующие фонемы: [ф], [ф'], [в], [в'], [с], [с'], [з], [з'], [ш], [ш':], [ж], [ж':], [х], [х']. То обстоятельство, что фонема является щелевой согласной, на языке алгебры конечных предикатов [3] может быть записано в виде следующего индивидуального предиката:

$$\text{Щел}(x) = x^{\text{ф}} \vee x^{\text{ф}'} \vee x^{\text{в}} \vee x^{\text{в}'} \vee x^{\text{с}} \vee x^{\text{с}'} \vee x^{\text{з}} \vee x^{\text{з}'} \vee \\ \vee x^{\text{ш}} \vee x^{\text{ш}'} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{ж}'} \vee x^{\text{х}} \vee x^{\text{х}'}$$

Характерной особенностью щелевых согласных является наличие шума при их артикуляции [4], а кривые, характеризующие акустическое колебание, отличаются большим по сравнению со взрывными числом переходов через ноль и сравнимым в случае скользящих согласных [т'], [д'], [ц], [ч]. Кроме того, анализ элементарных сегментов гласных и сонорных звуков русского языка дает основание говорить о том, что элементарные сегменты, соответствующие фазе выдержки при артикуляции вокализованных звуков, отличаются достаточно высокой стабильностью. Этого нельзя сказать об элементарных сегментах, соответствующих таким фазам артикуляции как экскурсия и рекурсия. При этом кривая, характеризующая акустическое колебание, в пределах элементарного сегмента начинает деформироваться за счет конечной его части, примыкающей к следующему элементарному сегменту (участок АВ на рис. 1). Для конечной части элементарного сегмента характерны небольшие амплитудные отклонения. Поэтому при деформации конечной части сегмента часто возникает ситуация, когда переход сигнала из положительной области в отрицательную или наоборот осуществляется не через один ноль, а через целую их «пачку». Аналогичная ситуация наблюдается при анализе параметрического кода речевого сигнала, соответ-

ствующего фазе выдержки смычных согласных, т. е. паузы, где также встречаются «пачки» нолей. Для щелевых согласных характерно отсутствие «пачек» нолей, и переход сигнала из положительной области в отрицательную или наоборот преимущественно происходит «чисто», т. е. «без ноля».

Поэтому было предложено для характеристики щелевых согласных ввести в рассмотрение кривую, характеризующую число переходов через ноль на интервале определенной фиксированной длины. При подсчете числа переходов через ноль — учитывались только «чистые» переходы, или переходы «без ноля». В дальнейшем описанную выше кривую будем называть кривой числа переходов через ноль.

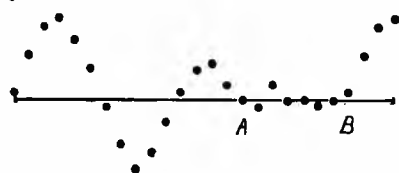


Рис. 1. Графическое представление элементарного сегмента акустической волны

Всего было проанализировано 280 слов трех дикторов, содержащих твердые и мягкие варианты щелевых согласных: по одному набору слов для двух дикторов и по два набора — для одного. При этом наборы слов были составлены так, что щелевой согласный находился в сочетании с любым последующим гласным, т. е. рассматривались слоги типа гсА, гсО, гсУ, гсЭ, гсИ, гсЯ, гсЕ, гсЮ, гсЕ, гсИ.

Представленные слова содержат интересующие нас щелевые согласные: губно-зубные — глухой [ф] и звонкий [в'], однофокусные — глухой [с] и звонкий [з], двухфокусные — глухой [ш] и звонкий [ж], заднеязычный [х]. Нетрудно заметить, что кривая числа переходов через ноль достаточно рельефно обозначает на динамических портретах слов сегменты щелевых согласных. Исключение составляет звонкий губно-зубной [в'] (рис. 2, в). Поэтому вопрос об автоматическом выделении в речевом сигнале сегмента, соответствующего губно-зубному звонкому щелевому с использованием кривой числа переходов через ноль не может быть решен — необходимо привлечение дополнительной акустической информации, почерпнутой из акустического анализа сигнала.

Следует упомянуть также о том, что поскольку шумовая составляющая у глухой губно-зубной [ф] по своей частоте распределена на достаточно широком спектральном диапазоне порядка 4 кГц и более [4], то «колпак» PQR (рис. 2, а) может быть высоким — сегмент, соответствующий [з] (рис. 2, г), средним — сегмент глухого [ф] (рис. 2, б) и низким, как в случае звонкого [в] (рис. 2, в). Так, из двадцати динамических

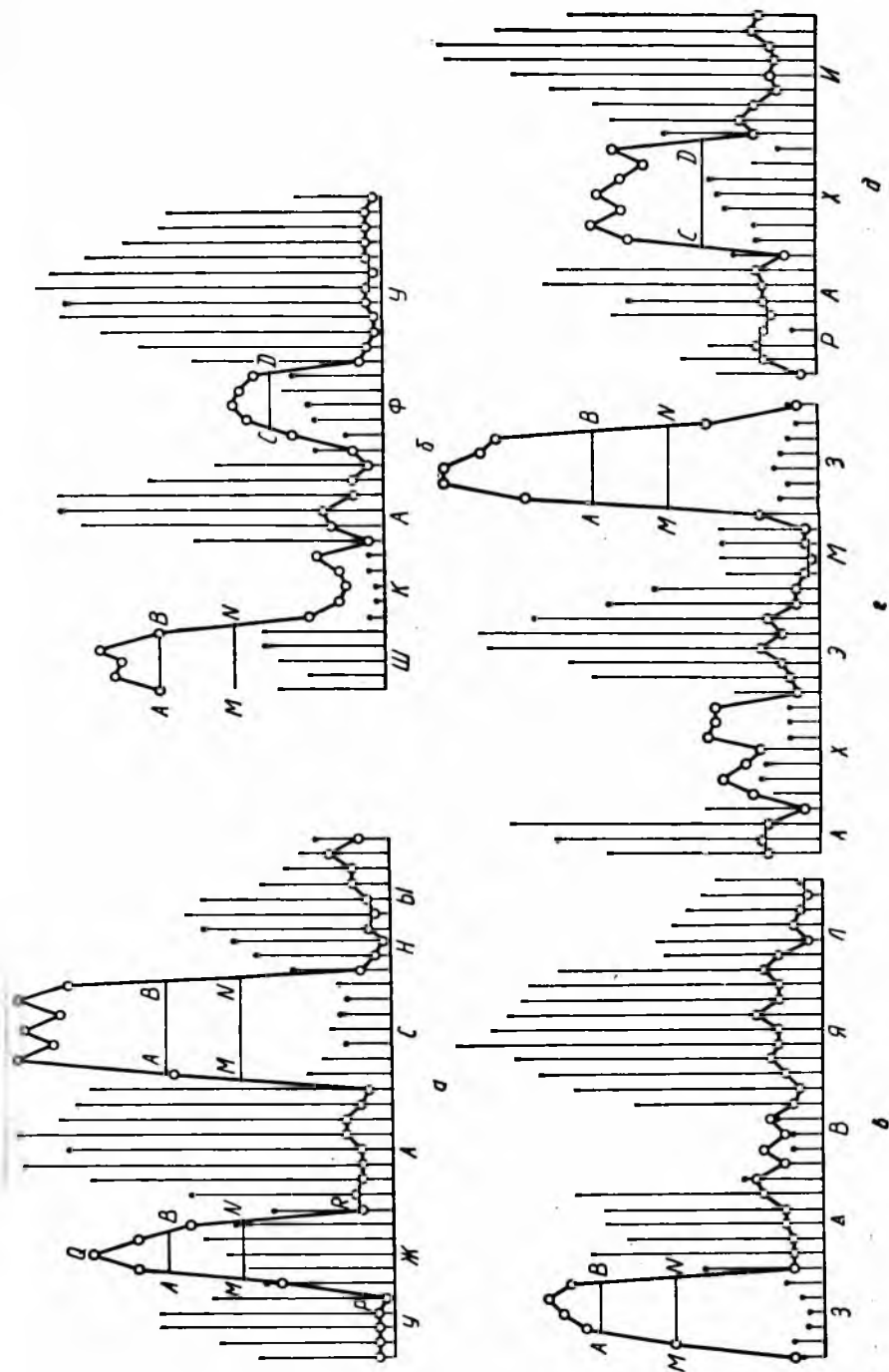


Рис. 2. Динамические портреты слов:

а - «ужасный»; б - «шкафу»; в - «завял»; г - «ахэмз»; д - «рахит»

портретов слов (по десять слов двух дикторов), содержащих глухой щелевой согласный, на двух «колпак» оказался низким и на четырех — высоким. Это усложняет процедуру выделения в речевом сигнале сегмента, соответствующего глухим [ф], [ф'], но, как видим из приведенных цифр, не делает ее безнадежной. Тем более, что наличие «высокого колпака» в сочетании с другими признаками делает глухой щелевой уникальным.

Твердый вариант заднеязычного щелевого согласного [x] (рис. 2, г) незначительно отличается поведением кривой числа переходов через ноль на анализируемом сегменте от губно-зубного звонкого [в]. В обоих случаях «колпак», накрывающий согласный, либо отсутствует, либо является низким. А поскольку согласные [в], [x] характеризуются еще и слабой интенсивностью акустических колебаний, то, согласно принятой методике анализа речевых сигналов [1], они попадут в одну группу вместе со взрывными согласными. Поэтому для отделения губно-зубных [в], [в'] от взрывных согласных используется такой признак, как длительность согласного (точнее ширина области атенсивности, соответствующая анализируемому согласному). Для отделения заднеязычного твердого [x] от взрывных согласных используется такой признак, как среднее значение интенсивности сигнала на анализируемом сегменте. Для заднеязычного она оказывается выше, чем для взрывных, фаза выдержки которых соответствует акустической паузе.

Мягкий вариант заднеязычного щелевого [x'] (рис. 2, д) характеризуется наличием «среднего колпака», накрывающего сегмент согласного, т. е. мягкий [x'] по числу переходов через ноль сравним с глухим губно-зубным твердым [ф] и мягким [ф'].

Попутно заметим, что на динамических спектрограммах открытых слогов мягкий [x'] в слове ихИ «обладает столь мощным фрикативным высокочастотным шумом, что этот слог почти невозможно отличить от слога исИ» [4], т. е. с позиций спектрального анализа трудно отделить [x'] от [с'] и от [с]. В нашем случае (сравним сегменты интересующих согласных на рис. 2, а и д) удастся провести надежную границу, отделяющую [x'] от [с].

Чтобы выделить в речевом сигнале сегменты, соответствующие однофокусным и двухфокусным щелевым [с], [з], [ш], [ж], воспользуемся методом сечений [1]. Проведем срез кривой числа переходов через ноль на уровне 60 % от нормализованного по амплитуде сигнала (отрезки АВ на рис. 2). Поступая так, мы обязательно получим срез «высоких колпаков» и не заденем «колпаки» средней высоты. Для выделения в речевом сигнале сегментов, соответствующих глухим губно-зубным [ф], [ф'] и мягкому заднеязычному [x'], проведем срез кривой числа переходов

через ноль на уровне 30 % от нормализованного по амплитуде речевого сигнала. В этом случае мы обязательно сделаем срез «колпаков» средней высоты (отрезки  $CD$  на рис. 2, б и д). Конечно, при этом будут сделаны срезы и «высоких колпаков», если не сделать эти срезы последовательно и не исключить из рассмотрения после среза «высоких колпаков» выявленные сегменты.

Уровень срезов кривой числа переходов через ноль в 60 и 30 % выбран из тех соображений, что на имеющемся статистическом материале событие «есть срез» и «есть срез внизу и нет среза вверх» имеют вероятность, близкую к единице.

Для уточнения границ сегментов поступим следующим образом. Получив срезы  $AB$ ,  $CD$ , будем «спускаться» по левой и правой сторонам «колпака» до тех пор, пока не встретим строку динамического портрета. Левая и правая точки встречи дадут нам уточненные границы сегментов. Эта процедура может быть легко реализована программно, если вспомнить, что и динамический портрет, и кривая числа переходов через ноль — это массивы в памяти ЭВМ.

Для того чтобы в классе звуков  $[c]$ ,  $[c']$ ,  $[z]$ ,  $[z']$ ,  $[ш]$ ,  $[ш']$ ,  $[ж]$ ,  $[ж']$  однофокусные  $[c]$ ,  $[c']$ ,  $[z]$ ,  $[z']$  отделить от двухфокусных  $[ш]$ ,  $[ш']$ ,  $[ж]$ ,  $[ж']$ , нужно оценить среднее значение интенсивности сигнала на сегменте согласного. Двухфокусные являются более энергоемкими согласными по сравнению с однофокусными. Это можно наблюдать и в степени затемнения динамических спектрограмм [4]. Поэтому среднее значение интенсивности сигнала на анализируемом сегменте будет больше для двухфокусных щелевых  $[ш]$ ,  $[ш']$ ,  $[ж]$ ,  $[ж']$ .

В качестве признака, отделяющего звонкие от глухих как однофокусные щелевые, так и двухфокусные, примем длину отрезка  $MN$ .  $MN$  — это срез «высокого колпака» на уровне 40 % от нормализованного по амплитуде речевого сигнала. Для глухих щелевых длина отрезка  $MN$  больше, чем для звонких. Уровень в 40 % выбран потому, что для всех рассмотренных выборок отделение звонких от глухих наиболее надежно.

Особое положение занимает мягкий глухой двухфокусный  $[ш']$ . Для него длина отрезка  $MN$  оказывается существенно больше, чем для твердого  $[ш]$ . Это обстоятельство позволяет отделить мягкий глухой двухфокусный от твердого.

Итак, такие признаки как наличие или отсутствие срезов  $AB$ ,  $CD$ , среднее значение интенсивности сигнала на анализируемом сегменте, длина отрезка  $MN$  позволяют получить следующие классы для щелевых согласных: глухие однофокусные  $[c]$ ,  $[c']$ ; звонкие однофокусные  $[z]$ ,  $[z']$ ; глухой твердый двухфокусный  $[ш]$ ; глухой мягкий двухфокусный  $[ш']$ ; звонкие двухфокусные  $[ж]$ ,  $[ж']$ ; заднеязычный твердый  $[x]$ ; губно-зубные звонкие  $[в]$ ,  $[в']$ ; губно-зубные глухие  $[ф]$ ,  $[ф']$  и заднеязычный мягкий  $[х']$ .

В заключение приведем основные этапы алгоритма автоматического выделения щелевых согласных в потоке речи.

1. Согласно методике, изложенной в [1], получаем динамический портрет речевого сигнала. 2. По динамическому портрету выделяем в речевом сигнале сегменты, характеризующиеся большой интенсивностью, средней и малой. 3. Определяем длину сегмента с малой интенсивностью и отделяем [в], [в'] от взрывных согласных. 4. Определяем среднее значение интенсивности сигнала на сегменте с малой интенсивностью и отделяем [х] от взрывных согласных. 5. Подсчитываем число переходов через ноль на интервалах 10 мс. 6. Проводим срез АВ кривой числа переходов через ноль и выделяем в речевом сигнале сегменты соответствующие согласным [с], [с'], [з], [з'], [ш], [ш':], [ж], [ж':]. 7. Уточняем границы сегментов. 8. Для полученных сегментов подсчитываем среднее значение интенсивности сигнала и отделяем [с], [с'], [з], [з'] от [ш], [ш':], [ж], [ж':]. 9. Для полученных сегментов проводим срез MN кривой числа переходов через ноль и отделяем [с], [с'] от [з], [з']; [ш], [ш':] от [ж], [ж':] и [ш':] от [ш].

**Список литературы:** 1. Бондаренко М. Ф., Николаенко В. Л. Методика анализа речевых сигналов по их динамическим портретам.— Пробл. бионики 1985, вып. 35, с. 12—21. 2. Черкасов Л. Н. О классификации согласных современного русского литературного языка по способу образования.— *Вопр. языкознания*, 1980, № 3, с. 36—45. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Теория интеллекта: Математические средства.— Х.: Вища шк., Изд-во при Харьк. ун-те 1984.— 144 с. 4. *Динамические спектры речевых сигналов* / М. Ф. Деркач, Р. Я. Гумецкий, Б. М. Гура, М. Е. Чабан.— Львов: Вища шк. Изд-во при Львов ун-те, 1983.— 168 с.

*Поступила в редколлегию 28.11.84*

---

УДК 534.78 : 519.254

*А. Н. ГАВРАШЕНКО, М. Ф. БОНДАРЕНКО*

### **О МЕТОДЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ГРУППЫ СОГЛАСНЫХ РУССКОГО ЯЗЫКА**

---

Одним из главных направлений научных исследований автоматического распознавания речи является фонемное распознавание [1]. При разработке этого направления возникают трудности, которые объясняются двумя причинами:

- 1) сложным характером речевых сигналов, зависящих не только от произносимых звуков, но и от контекста, отчетливости, громкости, темпа и интонации произнесения, а также индивидуальных особенностей и состояния говорящего;
- 2) трудностью использования необходимых для опознавания речи лингвистических данных.

Поэтому многие исследователи в области речи переходят от попыток опознавания всех фонем к опознаванию некоторых отдельных фонем.

Настоящая работа посвящена вопросу автоматического распознавания группы шумных согласных звуков русского языка (С, З, Ц, Ч, Ш, Ж, Ф, Щ, Х'), содержащихся в составе слов, произносимых произвольными дикторами (без особой подготовки). Предлагаемый алгоритм опознавания работает в реальном масштабе времени. Назовем указанную группу согласных классом распознавания.

Большинство работ по исследованию шумных звуков основано на спектральном анализе речи с привлечением информации об интенсивности речевого сигнала (РС). Исследователи Хьюз и Халле строили метод опознавания звуков [2] на использовании отношений энергии в трех парах частотных полос речевого сигнала. Цемель Г. И. [1] упоминает о методе опознавания начальных щелевых  $s, j, f, h, v, z$  посредством разделения акустического сигнала на 19 каналов с помощью полосовых фильтров с низкой добротностью. Анализ шумных звуков осуществлялся также по клиппированной речи с использованием таких характеристик, как кривые плотности распределения длительностей интервалов между нулевыми пересечениями, усредненная плотность нулей [1]. Многие зарубежные исследователи в своих системах по автоматическому опознаванию речи широко используют параметр скорости перехода сигнала через временную ось как одну из важнейших акустических характеристик [3]. Надежность опознавания исследуемых шумных звуков в указанных работах изменялась в пределах от 86 до 99,2 %.

Данные по опознаванию щелевых, приведенные в опубликованных работах, основаны на анализе сравнительно небольшого числа реализаций звуков в словах. Для получения более достоверных данных необходимо при анализе и проверке информативности признаков применять более разнообразный речевой материал, включающий многосложные слова и все типы встречающихся сочетаний щелевых с другими звуками (в том числе в неударных слогах), используя большое количество дикторов.

В данной работе предлагается метод выделения группы указанных выше шумных звуков, основанный на использовании временных параметров РС таких, как частота перехода РС через временную ось, средняя плотность нулевых переходов в слове и в фонеме, длительность звука. Данный алгоритм реализован на ЭВМ серии ЕС и не требует сложных специализированных устройств как для первичной обработки акустического сигнала, так и для последующего его анализа с целью опознавания шумных звуков.

РС вводится в ЭВМ с микрофона типа МД-68 в условиях шумов машинного зала ВЦ. Параметрический код дискретизи-



рованного с частотой 38 кГц акустического сигнала запоминается в оперативной памяти. Первичная обработка речевого сигнала, заключающаяся в его нормировании и преобразовании в бинарный код, выполнена программно.

Амплитудно-временное описание РС содержит почти всю необходимую информацию о речи [1]. Поэтому амплитудные отсчеты, взятые на каждом шаге квантования, и частота переходов через временную ось могут служить признаками акустического сигнала. В предлагаемом алгоритме широко используются данные, содержащиеся в нулевых переходах РС. Как известно [1], большая часть речевой информации содержится в согласных звуках, большинство которых обладает шумовой составляющей. Акустическая характеристика скорости перехода речевого сигнала через нуль хорошо характеризует шумные звуки и качественно, и количественно, обеспечивает их существенное отличие от всех остальных звуков русского языка.

Под понятием частоты переходов через нуль акустического сигнала  $F_n$  рассматривается количество пересечений речевым сигналом временной оси за какой-либо интервал времени. В точке пересечения сигнал изменяет свой знак на противоположный. Частота переходов через нуль РС вычислялась на сегментах длиной 10 мс. Этот интервал был выбран из следующих соображений. Речевой тракт — это акустическая труба с неодинаковой по продольной оси площадью поперечного сечения. Изменив продольный профиль трубы, можно получить другую звуковолну на выходе у рта. Профиль акустической трубы меняется медленно. Его можно считать неизменным за интервал 10 мс. Шумовой источник тоже является неизменным. В результате вычисления значений  $F_{ni}$  для каждого сегмента на интервале всего слова получаем представление любого, сказанного в микрофон слова, в виде числовой последовательности

$$F_{n1}, F_{n2}, F_{n3}, \dots, F_{nN},$$

где  $N$  — количество сегментов в слове.

Для наглядности было использовано графическое представление частоты переходов через нуль в слове  $F_n$  как функцию времени. В качестве примера такое представление слова «СУША» показано на рис. 1.

В описываемом алгоритме опознавания шумных звуков используется метод сечения, заключающийся в том, что график  $F_n$  в слове разрезается на определенном уровне сечением. Для определения уровня проведения сечения определяется среднее значение частоты переходов через нуль в слове

$$MO = \frac{\sum_{i=1}^N F_{ni}}{N}. \quad (1)$$

Данный уровень (далее будем обозначать его символом MO) выбран не случайно, так как значение MO является усредненной

характеристикой всего слова, и относительно этого уровня можно судить о том, присутствуют ли в слове фонемы, отличающиеся от остальных фонем величиной параметра  $F_n$  на своем протяжении (рис. 1). Как показали исследования, если в слове присутствует шумный звук (один или несколько) из состава класса распознавания, то значение  $F_n$  на всей длине звука превосходит уровень сечения и ни на одном сегменте не опускается ниже этого уровня. Значение параметра  $F_n$  на каждом сегменте этих звуков по величине превосходит 60. Это характерно для всех фонем рассматриваемой группы и является стабильной харак-

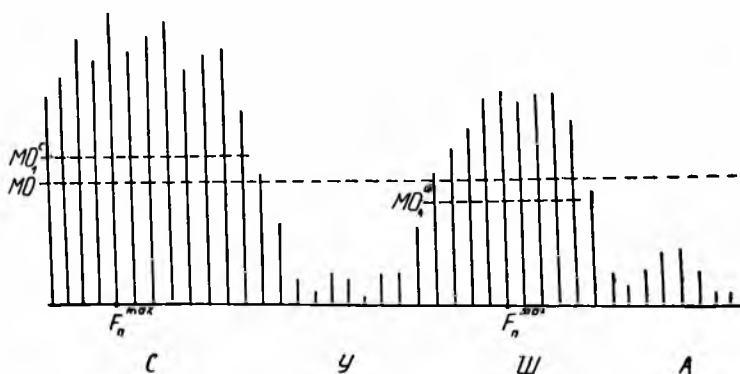


Рис. 1. Географическое представление слова «СУША»

теристикой, позволяющей отличать эти фонемы от всех остальных звуков русского языка.

Однако существует ряд фонем (не входящих в указанную последовательность), которые на определенном участке своего звучания дают всплеск частоты переходов через нуль, при этом значение  $F_n$  на сегментах может достигать 60 и выше. Это такие фонемы, как Д', К, Т', Х, сочетание фонем ВТ. Эти всплески имеют довольно случайный характер и в зависимости от произношения могут иметь место или отсутствовать. Как указывалось выше, всплески значения параметра  $F_n$  в указанных фонемах возникают лишь на отдельных, рядом стоящих сегментах этих фонем.

Таким образом, длина участка фонемы не сравнима с протяженностью самой фонемы. Эту особенность можно использовать в классификации всплесков частоты переходов через нуль, соответствующих различным фонемам в слове. Помимо звуков Д', К, Т', Х и сочетания ВТ, случайные всплески  $F_n$ , превышающие уровень сечения МО, могут давать и некоторые другие фонемы. Исследовав характер этих выбросов на интервале фонемы в словах с шумными звуками, пришли к выводу, что такие всплески существуют одновременно не более чем на трех

рядом расположенных сегментах, затем следует провал значения  $F_n$ , опускающийся ниже уровня МО в слове (рис. 2).

Из всего сказанного выше вытекает, что для фонем С, З, Ц, Ч, Ш, Ж, Ф, Щ, Х' всплеск частоты переходов через нуль, превышающий уровень сечения МО, имеет стабильный характер на протяжении всей фонемы и ни на одном сегменте не опускается ниже указанного уровня, независимо от того, сколько слогов имеет слово и сколько шумных звуков входит в его состав. При этом значение  $F_n$  на сегментах фонемы превосходит 60. Для всех остальных звуков русского языка, входящих в состав слова,

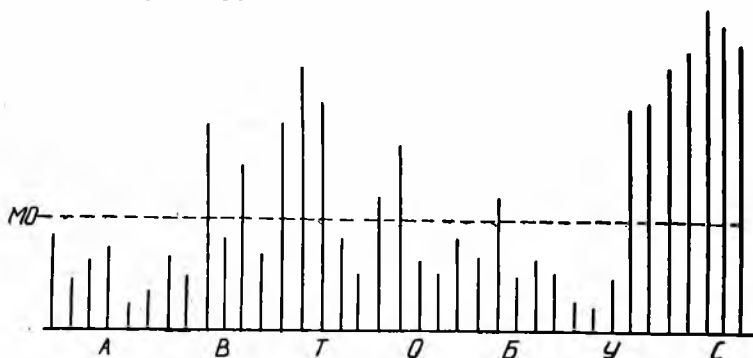


Рис. 2. Географическое представление слова «АВТОБУС»

значение параметра  $F_n$  на их протяжении либо вообще не превышает уровень сечения МО, либо, если это случается, происходит не более чем на трех рядом стоящих сегментах фонемы, после чего обязательно следует провал  $F_n$ , опускающийся ниже уровня сечения МО в слове (рис. 2).

Такая довольно несложная операция выделения шумных звуков в словах выполняется алгоритмом, описываемым в данной работе, если в слове присутствуют шумные звуки из класса распознавания. Если же в анализируемом слове указанные звуки отсутствуют, то, естественно, уровень сечения в слове МО проходит на довольно незначительной высоте, так как фонемы слова имеют малые значения  $F_n$  и не отличаются по этому параметру друг от друга. Таким образом, сечение МО может пересекать значения  $F_n$  на протяжении всей фонемы. Этот случай иллюстрируется рис. 3. Алгоритм выполняет следующие шаги анализа предложенного слова. По признаку превышения уровня сечения МО в слове выделяются границы шумных звуков, причем выбираются только те звуки, на сегментах которых значение  $F_n$  не опускается ниже МО. Осуществляется подсчет количества рядом стоящих сегментов, имеющих значение  $F_n$  большее, чем уровень МО. Если это количество не меньше 7, то выделяется этот участок слова. Начальной границей участка

будет начало первого из выделенных сегментов, конечной — конец последнего из выделенных сегментов. Затем находится максимальное значение  $F_n$  на этом участке  $F_n^{\max}$ . На выделенном отрезке слова на уровне

$$MO_1 = \frac{F_n^{\max}}{2} \quad (2)$$

проводится еще одно сечение (рис. 1). Алгоритм выполняет операцию анализа, подобно той, что и на интервале слова, что-

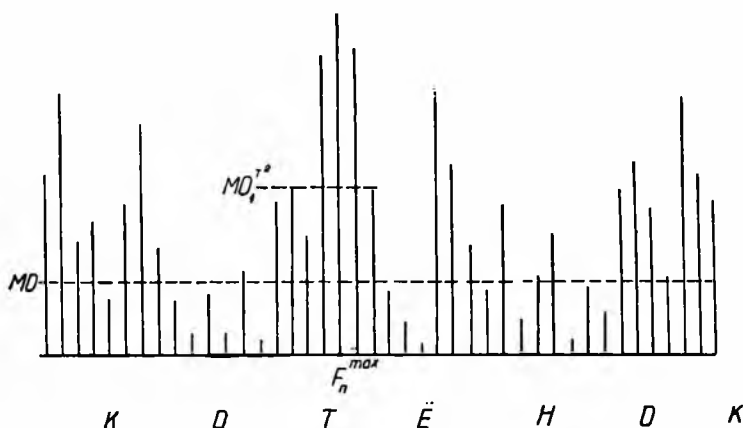


Рис. 3. Географическое представление слова «КОТЕНОК»

бы определить, на каких сегментах звука параметр  $F_n$  превышает уровень  $MO_1$ . В результате исследований установлено, что если в слове присутствует шумный звук из класса распознавания, то на его протяжении есть не менее 7 рядом стоящих сегментов, частота переходов через нуль которых больше уровня сечения  $MO_1$  в звуке. Для всех остальных звуков это условие не выполняется. Это можно показать на примере слова «КОТЕНОК», представленного графически на рис. 3. Проведенное сечение на уровне  $MO$  выделяет по признаку пересечения  $F_n$  на протяжении не менее 7 рядом стоящих сегментов участок слова, содержащий фонему Т'. Вычислим значение  $F_n^{\max}$  на этом участке и найдем уровень сечения  $MO_1$  по формуле (2). На следующем шаге алгоритм выполняет анализ на выделенном участке с целью определения количества рядом расположенных сегментов, на которых  $F_n$  превышает уровень  $MO_1$ . Как видно из рисунка, количество сегментов равно 3. Алгоритм отнес бы этот участок слова к классу шумных звуков, если бы количество этих сегментов было не менее 7 и значение  $F_n^{\max}$  на нем превышало бы 60. Но так как эти условия не выполняются,

то алгоритм относит выделенный отрезок слова к группе звуков, не входящих в состав класса распознавания.

В результате экспериментов оказалось, что для классификации звуков русского языка важное значение имеет параметр максимального значения частоты переходов через нуль  $F_n^{\max}$  на интервале звука. По значению  $F_n^{\max}$  все фонемы можно разбить на три группы: 1 — С, З, Ц; 2 — Ч, Ш, Ж, Ф, Щ, Х'; 3 — все остальные звуки русского языка.

Область значений для  $F_n^{\max}$  первой группы лежит в пределах от 117 до 180. Для второй группы — от 60 до 116. Для третьей группы — ниже 60.

В ходе экспериментов замечено, что значения  $F_n^{\max}$  для второй группы могут иметь случайные небольшие по величине выбросы, в результате которых  $F_n^{\max}$  попадает в область значений первой группы звуков. В связи с этим предлагаемый алгоритм производит разбиение на группы исследуемого класса фонем не по признаку  $F_n^{\max}$ , а по некоторой усредненной характеристике, вычисляемой по формуле

$$F_n^{\text{cp}} = MO_1 + \frac{(F_n^{\max} - MO_1)^2}{3}. \quad (3)$$

Предлагаемый алгоритм по признаку  $F_n^{\text{cp}}$  все фонемы русского языка однозначно разбивает на три группы (рис. 4).

На предлагаемый для анализа словарь накладываются определенные ограничения, которые заключаются в требовании, чтобы в предлагаемом слове не было рядом расположенных шумных звуков, входящих в класс распознавания.

В качестве промежуточного этапа предлагаемый алгоритм выполняет операцию уточнения границ выделяемых шумных звуков. Это связано с тем, что для звуков из второй группы значение  $F_n$  на их протяжении бывает близко к границе 60 (рис. 4). Поэтому если в слове не имеется фонем из 1-й группы, а есть только из 2-й и рядом с ней стоит звук типа К или Т', которые имеют значения параметра  $F_n$  в пределах  $30 \leq F_n \leq 50$ , то сечение на уровне  $MO$  может вырезать границы шумного звука, начало которого будет совпадать с началом звука из группы 2, а конец — с концом рядом стоящего с ним звука К или Т'. В связи с этим алгоритм осуществляет корректировку ранее найденных границ шумного звука. Для этого используется две ранее найденные характеристики. Первая из них  $DL1$  обозначает количество рядом стоящих сегментов, соответствующих длине шумного звука, на которых значение  $F_n$  превышает уровень  $MO$  в слове. Вторая  $DL2$  — количество рядом стоящих сегментов внутри уже найденных границ, на которых значение  $F_n$  превышает уровень  $MO_1$  в шумном звуке. Если разность этих двух характеристик  $RASN = DL1 - DL2$  не более 4, то в

качестве границ шумного звука выбирается значение  $DL1$ , в противном случае —  $DL2$  (рис. 5).

Психофизические эксперименты выполнялись посредством устройства синтеза, работа которого основана на использовании частотно-импульсного кода речевого сигнала. Произносимые в микрофон слова, а затем и выделенные участки слова подвергались слуховому анализу, который проводился, чтобы определить точность найденных границ шумных звуков и надежность выделения их из состава слов.

В экспериментах принимали участие в качестве дикторов 3 человека (2 мужчин и 1 женщина), которые предварительно тренировались, чтобы читать слова с постоянным темпом. Речевой материал состоял из 921 слова, в составе которых были использованы односложные, двусложные и трехсложные слова. Используемые для анализа шумные звуки располагались в начале, середине и конце слов, до и после почти

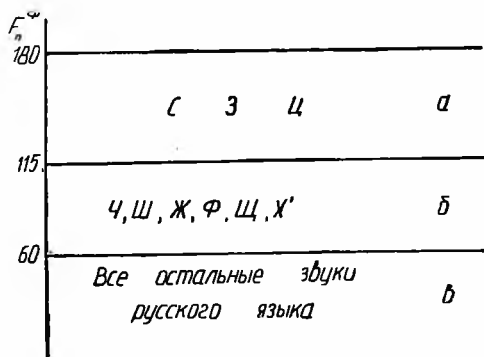


Рис. 4. Классификация фонем русского языка:

а — I группа; б — II группа; в — III группа

всех гласных и многих согласных звуков. Положение в слове и окружение шумных звуков влияло в основном на их длительность и соответственно на уровень проведения сечений и мало сказывалось на значении параметра  $F_n^{\max}$ , что не влияло на разбиение звуков из класса распознавания на группы. Надежность выделения из слов шумных звуков С, З, Ц, Ч, Ш, Ж, Ф, Щ, Х' и деления их на группы (рис. 4), выполняемые алгоритмом, описанным в данной статье, составляет 98,7%.

Таким образом, описанный в статье метод делит все звуки русского языка на 3 группы: 1 — С, З, Ц; 2 — Ч, Ш, Ж, Ф, Щ, Х'; 3 — все остальные звуки русского языка.

Для более удобного представления этих групп фонем опишем их математически. В качестве формального языка будем использовать алгебру конечных предикатов [4]. Язык алгебры конечных предикатов универсален для целей математического описания конечных объектов. Данное обстоятельство позволяет описать на этом языке группы фонем, на которые предложенный в статье алгоритм делит все фонемы русского языка. Математическое представление этих 3 групп в виде уравнений позволит быстро и эффективно решать их на ЭВМ. Чтобы построить эти уравнения для каждой из трех групп фонем русского языка,

необходимо иметь признаки, на базе которых можно отличать фонемы одной группы от остальных звуков. Для этого используются следующие признаки:

$f$ , характеризующий значение параметра  $DL1$ ; по этому признаку на интервале анализируемого слова выделяются характерные шумные участки;

$h$ , характеризующий значение параметра  $DL2$ ; по этому признаку все фонемы, отнесенные в группу шумных по признаку

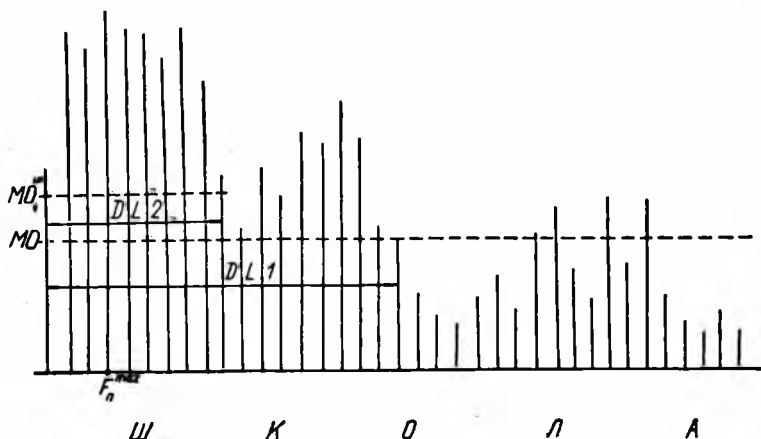


Рис. 5. Географическое представление слова «ШКОЛА»

$f$ , делятся на две группы: 1 — фонемы из класса распознавания и 2 — фонемы, не относящиеся к классу распознавания;

$d$ , характеризующий значение параметра  $F_n^{cp}$ ; по этому признаку звуки русского языка делятся на три группы (рис. 4).

Используя значения параметров  $DL1$ ,  $DL2$  и  $F_n^{cp}$ , характерных для каждой из трех групп (рис. 4), запишем уравнения на языке алгебры конечных предикатов, описывающие каждую из групп.

Для звуков С, З, Ц, объединенных в группу 1, параметры  $DL1$ ,  $DL2$  и  $F_n^{cp}$  принимают следующие значения:

$$DL1 \geq 7;$$

$$DL2 \geq 7;$$

$$115 \leq F_n^{cp} \leq 180.$$

Уравнение, описывающее эту группу фонем, имеет вид

$$A = \overline{Men(f, 7)} \wedge \overline{Men(h, 7)} \wedge Mp(d, 180) \wedge \overline{Men(d, 115)}. \quad (4)$$

Для звуков Ч, Ш, Ж, Ф, Щ, Х', объединенных в группу 2, параметры  $DL1$ ,  $DL2$ ,  $F_n^{cp}$  принимают значения

$$DL1 \geq 7;$$

$$DL2 \geq 7;$$

$$60 \leq F_n^{cp} < 115.$$

Эту группу фонем описывает уравнение

$$B = \overline{Men(f, 7)} \wedge \overline{Men(h, 7)} \wedge Men(d, 115) \wedge \overline{Men(d, 60)}. \quad (5)$$

Для группы звуков, не входящих в класс распознавания (группа 3), уравнение будет иметь вид

$$C = Men(f, 7) \vee Men(h, 7) \vee Men(d, 60). \quad (6)$$

Таким образом, получили систему математических уравнений, описывающую (в удобном для счета на ЭВМ виде) три группы фонем русского языка: 1 — С, З, Ц; 2 — Ч, Ш, Ж, Ф, Щ, Х'; 3 — все остальные звуки русского языка.

Решив эту систему на ЭВМ, получаем однозначный ответ на вопрос, к какой группе звуков относится выделенная по описанному в данной статье алгоритму та или иная фонема русского языка.

**Список литературы:** 1. *Цемель Г. И.* Опознавание речевых сигналов. — М.: Наука, 1971. — 142 с. 2. *Hughes G. W., Halle M.* Spectral properties of fricative consonants. — JASA, 1956, 28, p. 303—310. 3. *Paliwal K. K.* An isolated word recognition system for Hindi digits using linear time normalization. — J. Instn. Electronics and Telecom. engrs., 29, N 1, 1983, p. 18—22. 4. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Начала теории интеллекта: Технические средства. — Деп. ВИНТИ № 3323—82. — 245 с.

*Поступила в редколлегию 04. 01. 85.*

---

УДК 62 + 519.5 — 506

*И. Я. БЕРЕЗНАЯ, Э. В. СТРАХОВИЧ*

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ЧАСТИ РУКОПИСНОЙ БУКВЫ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ**

---

Описываемый алгоритм распознавания рукописных знаков основан на выделении топологических особенностей (признаков) буквы и анализе их взаимного расположения. Алгоритм обладает отличительной особенностью — сокращением перебора анализируемых точек на изображении буквы. Для анализа взаимного расположения характерных элементов изображения применяется лингвистический подход, что в общем случае дает возможность предсказать класс буквы по части ее контура и,

таким образом, сократить число просматриваемых точек на ее изображении. В силу того, что исследуемые признаки в основном топологические, алгоритм не чувствителен к метрическим преобразованиям изображения: удлинению, сжатию, изменению ориентации — наклону вправо или влево от вертикали на угол не более  $45^\circ$ .

\* \*  
\*

Работы по распознаванию знаков письменной речи, появившиеся в последнее время, отражают тенденцию к использованию структурного (лингвистического) подхода. Возможно, что стремление связано с изучением психофизиологических механизмов мозга. В этих работах, как правило, на изображении буквы первоначально выделяются топологические признаки: узлы [1], штрихи [2] или совокупности узлов и штрихов (вершин и ребер) [3]. Следующим шагом на пути к распознаванию служит определение транспозиционных признаков написания (характеристик взаимного расположения элементов) и составление некоторого кода-описания: совокупность характеристик формы элементов контура в [3] и структура слога в [1].

К задаче распознавания все чаще привлекаются графы [1, 3], изображающие структуры объектов. Вероятно, это связано с характером самих изображений — иероглифов и печатных букв, написанных от руки, стилизованных изображений. Для классификации таких изображений [1, 4], а иногда и штрихов [2] строятся грамматики. В этом случае проблема сокращения числа терминальных элементов в грамматике при возрастании произвольности написаний букв — проблема инвариантности грамматики относительно многообразия размеров знаков и их ориентации. Авторы стремятся к тому, чтобы их алгоритмы были независимы от метрических признаков [1—4].

Исследования алгоритмов распознавания знаков самых разнообразных алфавитов — европейских, восточных, иероглифических показали, что в большинстве этих работ (как и в более ранних) используется полный перебор точек изображения букв, а в некоторых случаях встречаются даже повторные просмотры отдельных участков изображения [2]. В целях сокращения перебора точек на изображении в указанной работе используется последовательное рассмотрение штрихов по мере их затребования, однако нигде не оговорено окончательное распознавание знака до полного его просмотра.

Предлагаемый нами алгоритм построен для 100 классов эквивалентных тонких написаний 31 русской буквы (буквы ё и й не рассматриваются). Каждый класс состоит из написаний одной буквы, обладающих одинаковыми топологическими признаками. Рассмотрено более 700 наиболее часто встречающихся

тонких написаний букв. Изображение знака представлено в виде единичных элементов двоичной матрицы из  $25 \times 20$  элементов, т. е. написанию буквы соответствуют элементы матрицы  $a_{ij}=1$ ,  $i \in [1, 25]$ ,  $j \in [1, 20]$ , а элементы матрицы  $a_{ij}=0$ ,  $i \in [1, 25]$ ,  $j \in [1, 20]$  составляют фон. Примеры написаний русских букв приведены на рис. 1.

Так же, как и в наших прежних работах [5—7], при распознавании используются признаки, характеризующие граничные точки изображения, лежащие на «касательных» к нему, и форму «профилей» — графиков функций расстояния от соответствующей касательной до изображения. Управляет процессом распознавания дерево признаков, ставящее в соответствие изображение буквы и набор признаков. Мы уже показали, что построение касательных и профилей позволило избежать перебора всех точек изображения буквы. Так, из более чем 700 рассмотренных написаний русских букв 39 % распознается только с помощью анализа касательных (при этом 36 % — с помощью двух-трех касательных), 57 % — с помощью касательных и одного профиля и меньше 1 % написаний — с помощью касательных и двух профилей [6—8]. Введена количественная оценка эффективности алгоритма, пропорциональная отношению числа элементов матрицы изображения буквы, которые были бы просмотрены при полном обходе ее контура, к числу элементов, которые просматриваются при реализации алгоритма распознавания. Коэффициент эффективности для русских букв в среднем равен 3,3 [6—8].

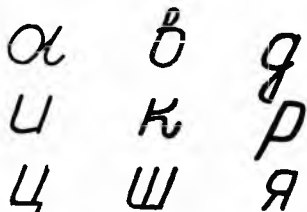


Рис. 1. Примеры написаний рукописных букв

Предложенный в [7, 8] алгоритм универсален: он применим с эффективностью 3—5 к распознаванию знаков в таких отличающихся по принципам начертания алфавитах, как русский, английский, грузинский, хинди, армянский, арабский, персидский, урду.

В настоящей работе сделан еще один шаг в целях повышения эффективности распознавания букв — для сокращения пути по дереву признаков от его корня до вершины используются грамматики касательных и профилей. Это позволяет описывать изображение буквы как слово из терминальных символов грамматики, что почти всегда короче, чем перебор путей по дереву признаков.

Построение наборов признаков, разделяющих написания букв, происходит следующим образом. Первоначально строится левая касательная к изображению, т. е. в двоичной матрице выделяется самый левый ненулевой столбец. Как показал анализ конфигураций букв русского алфавита, левая касательная по сравнению с другими касательными содержит наибольшее

количество информации о виде буквы. (Аналогично определяются верхняя, правая и нижняя касательные, т. е. в матрице выделяются соответствующие строки или столбец). На левой касательной самая верхняя ненулевая точка — первая граничная точка. В качестве граничных рассматриваются точки касания и узлы I—IV порядков, которые различаются по числу линий изображения, входящих и выходящих из них под некоторым углом друг к другу, для узлов II порядка этот угол не должен составлять  $180^\circ$  (иначе граничная точка классифицируется как точка касания). В случае узла I порядка определяется также и наклон линии изображения относительно касательной.

Так как заранее известно, на какой касательной лежит рассматриваемая граничная точка и какие элементы в ее окрестности заведомо нулевые, фактически анализируется не вся 8-окрестность граничной точки, а усеченная, т. е. 5-окрестность. Очевидно, что три левых элемента в 8-окрестности граничных точек на левой касательной всегда нулевые, то же справедливо для всех верхних (правых) элементов в 8-окрестности любой граничной точки на верхней (правой) касательной.

После определения первой граничной точки буквы (узла) или группы граничных точек (касание) просматриваются по следующие точки на касательной до тех пор, пока не будет найдена следующая граничная точка или не будут исчерпаны все элементы касательной. Если на левой касательной только одна граничная точка, то ее тип сразу определяет один из 17 классов, соответствующих 17 ветвям, вышедшим из дерева при знаках (таблица). При этом выделяется ближайшая к корню вершина на данной ветви. Если она концевая, распознавание заканчивается. Если граничных точек больше чем одна, происходит обращение к дереву грамматики левой касательной — к его корню (рис. 2, а).

Это дерево представляет правила вывода в грамматике левой касательной.  $S$  — начальный символ, арабские цифры — терминальные символы — коды типов граничных точек. Число концевых вершин в дереве грамматики граничных точек на левой касательной на единицу больше, чем множеств написаний букв, классифицируемых по граничным точкам на левой касательной. Это связано с тем, что для класса (см. табл. 1) возможны два варианта: точка касания выше узла I порядка или ниже его.

Фактически используется не все дерево, а только его поддерево, прохождение по которому эквивалентно генерированию лишь множества слов, описывающих изображения букв. Дерево грамматики строится следующим образом. По заданной грамматике строится метаграмматика; алфавитом последней служит упорядоченный набор правил вывода одноименной грамматики, а правила вывода метаграмматики, опираясь на контекст

**Множества написаний букв, классифицируемые по граничным точкам  
на левой касательной**

№ п. п.	Признаки граничных точек	Написание
1	Одно касание	а б в г д е ж з и л м о
2	Два касания	с у ф х ц ч ш щ ь ы ь я б д у в г е ж з и к л м н р п т у
3	Один узел I порядка	ф х ц ч ш щ ь ы ь э ю я
4	Два узла I порядка	ж з х э у ь
5	Три узла I порядка	з э
6	Один узел I порядка и одно касание	в г е з ф ь я
7	Один узел II порядка	к н п т ю л м
8	По одному узлу I и II порядков	к н п т ю
9	Два узла I порядка и один узел III порядка	к н ю п р т
10	Два узла I порядка и один узел IV порядка	к р
11	По два узла I и III порядков	к р
12	По одному узлу I и III порядков	ы ь
13	По одному узлу I и IV порядков	ы ь
14	Один узел III порядка	е ы
15	Один узел IV порядка	в
16	Два узла III порядка	в
17	Два узла I порядка и один узел II порядка	з

стные условия, задают последовательность применений правил вывода в соответствующей грамматике.

Граф вывода в метаграмматике, а по нему — граф вывода в грамматике формируется следующим образом: каждой вершине графа метаграмматики соответствует ребро графа грамматики — фактически индекс правила заменяется самим правилом. Вершины построенного графа отмечаются терминальными символами грамматики. Построенный граф изоморфен графу вывода в метаграмматике: из процесса построения следует взаимно-однозначное соответствие между вершинами этих двух графов. То, что граф грамматики строится с опорой на граф метаграмматики, позволяет избежать некоторых циклов, так как построения в метаграмматике опираются, в свою очередь, на контекстные условия. Возможность обходиться без циклов приводит к созданию конечного языка.

При просмотривании построенного дерева грамматики сверху вниз (от корня к вершинам) производится операция стягивания — удаление всех промежуточных вершин степени 2, а индекс удаленной вершины приписывается следующей вершине (рис. 2, а). Поскольку путь по дереву грамматики приводит в вершину, помеченную более, чем одним символом, создается возможность не просматривать некоторую часть изображения

буквы — как бы предсказать ее форму и тем самым сократить набор точек на ее контуре.

Обращение к корню дерева грамматики левой касательной ведет за собой переход к определенной вершине следующего уровня данного дерева. Если из этой вершины выходит не одна

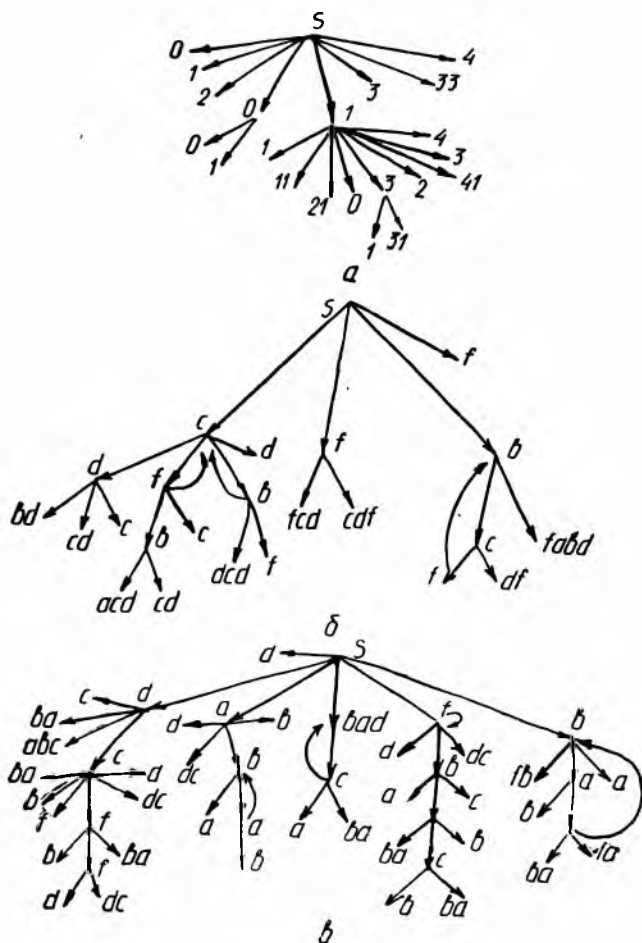


Рис. 2. Примеры графов правил вывода в грамматиках:

*a* — граничных точек на левой касательной; *b* — левого «профиля»; *v* — верхнего профиля

ребро, то изображение анализируется для определения типа следующей, второй граничной точки на левой касательной, что позволяет определить ребро, выходящее из указанной вершины дерева грамматики. Это ребро приводит к вершине, которая для дерева грамматики будет либо конечной, либо промежуточной.

Первый случай означает, что синтезирован набор признаков, определяющих одну из 17 ветвей, выходящих из корня дерева признаков. Во втором случае возможен переход к следующей вершине дерева грамматики, что позволяет предсказать тип следующей граничной точки без анализа ее на изображении. Таким образом, обращение к грамматике приводит к синтезу набора признаков, определяющих одну из 17 ветвей, выходящих из корня дерева признаков.

Обращение к грамматике левой касательной дает возможность ограничиваться, как правило, анализом только двух граничных точек на самом изображении буквы: если граничных точек больше, чем две, то их тип предсказывается без всякого анализа изображения, за исключением одного написания букв *к* и *р* (класс 10). При этом в окрестности первой граничной точки рассматривается пять элементов матрицы, а в окрестности второй — либо пять, либо один элемент, т. е. достаточно определить только факт существования второй граничной точки.

Итак, анализ левой касательной дает возможность выйти на одну определенную ветвь, выходящую из корня дерева признаков, и оказаться в вершине первого уровня. Если эта вершина концевая, распознавание заканчивается, если промежуточная, то строится либо следующая касательная (правая или верхняя), либо — левый профиль. Анализ очередной касательной — переход к дереву признаков — следует сразу после анализа первой граничной точки или через построение грамматики либо пары грамматика — метаграмматика соответствующей касательной или профиля. Здесь следует лишь уточнить, что профиль анализируется только после исследования соответствующей касательной, но в ряде случаев достаточно исследования касательной — профиль анализировать не нужно.

Аналогично исследуются граничные точки на верхней, правой и нижней касательных. В некоторых случаях для распознавания достаточно просмотра граничных точек лишь на левой касательной, что непосредственно ведет к прохождению пути на дереве признаков от его корня к концевой вершине. Но в общем случае анализ граничных точек на левой касательной приводит к некоторой вершине дерева признаков — корню поддерева признаков. Тогда строится следующая касательная и исследуются граничные точки на ней в соответствии с этим поддеревом либо строится профиль к левой касательной и исследуются его признаки. Стоит отметить, что не всегда после исследования касательной анализируется одноименный профиль, но всегда профиль исследуется после определения граничных точек на соответствующей касательной.

Профиль (левый, правый, верхний, нижний — в зависимости от касательной, относительно которой он строится) представляет собой описание формы контура буквы, как будто «видимого» со стороны соответствующей касательной. Он определяется

с помощью графика функции расстояний от «видимой» части контура буквы до данной касательной. Функция расстояния строится по точкам с переменным шагом, величина которого зависит от типа и взаимного расположения граничных точек на соответствующей касательной. Шаг выбирается так, что на видимой части контура буквы рассматривается наименьшее количество точек, необходимое для выявления участков с различной кривизной [6, 7]. График функции расстояний относительно касательной определяется вектором, компонентами которого являются значения расстояний от части контура буквы до соответствующей касательной. Все операции, связанные с определением характера формы профиля, производятся над вектором расстояний. На графике расстояний выделяются четыре типа участков кривой: вогнутости  $\cap$  и  $\cup$ , выпуклости  $\cup$  и  $\cap$  и элемент прямой линии с любым наклоном. Профиль описывается последовательностью этих элементов. Подход к построению всех трех профилей одинаков, так как все кривые можно разбить на выпуклости, вогнутые и прямолинейные участки.

Анализ формы профиля, т. е. составление набора признаков для его описания аналогичен анализу граничных точек на касательной. Определив первый элемент профиля, обращаемся к соответствующей грамматике профиля (рис. 2, б). В графах грамматики профилей  $S$  — начальный символ, латинскими буквами обозначены элементы профиля:  $a$  —  $\cup$ ,  $b$  —  $\cap$ ,  $c$  —  $\cup$ ,  $d$  —  $\cap$ ,  $f$  — прямолинейный участок с любым наклоном. Если путь в графе грамматики профиля однозначен, то по нему строится слово, описывающее признаки формы профиля, и происходит возврат в вершину дерева признаков. Затем либо изображение классифицируется, либо продолжается путь по ветвям дерева признаков. Если по первому элементу профиля путь в дереве его грамматики не определяется однозначно, то исследуется второй элемент профиля и далее идет обращение к промежуточной вершине графа грамматики профиля.

Так поступают до тех пор, пока в графе грамматики профиля не выделится единственный путь или не будет достигнута концевая вершина. В каждом из этих случаев однозначно определяется слово, описывающее профиль. При этом либо изображение будет классифицировано по управляющему дереву признаков, либо определится дальнейший ход распознавания.

Следует отметить, что в случаях возврата по графу грамматики профиля (цикл) в вершину с одним выходящим ребром можно не исследовать некоторый «повторяющийся» участок на профиле (т. е. не рассматривать соответствующую часть на изображении буквы), а определить форму конца этого участка по граничным точкам и продолжить просмотр изображения с этого места, что также сокращает перебор анализируемых точек на контуре буквы. На рис. 2, в изображен граф грамма-

тики верхнего профиля с циклами, позволяющими предсказывать форму нескольких участков профиля без их просмотров.

На рис. 3 показаны примеры написаний букв и для каждого примера вычислена оценка эффективности алгоритма  $\eta = \frac{8P}{B}$ , где  $P$  — длина всего контура данного написания (число нену-

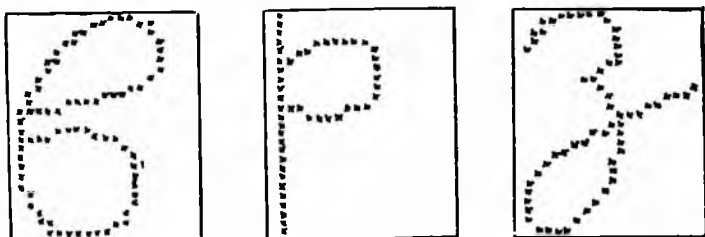


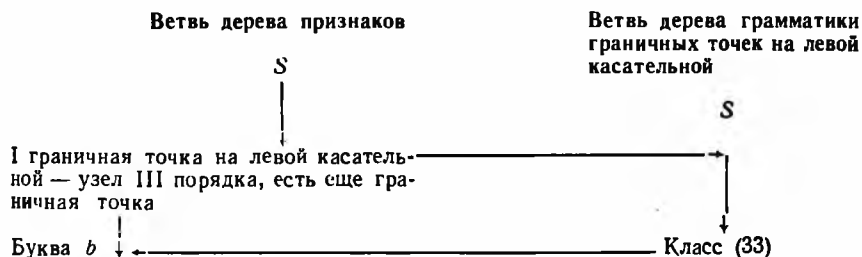
Рис. 3. Примеры дискретных изображений букв

левых элементов матрицы);  $B$  — число анализируемых точек контура написания для его распознавания;

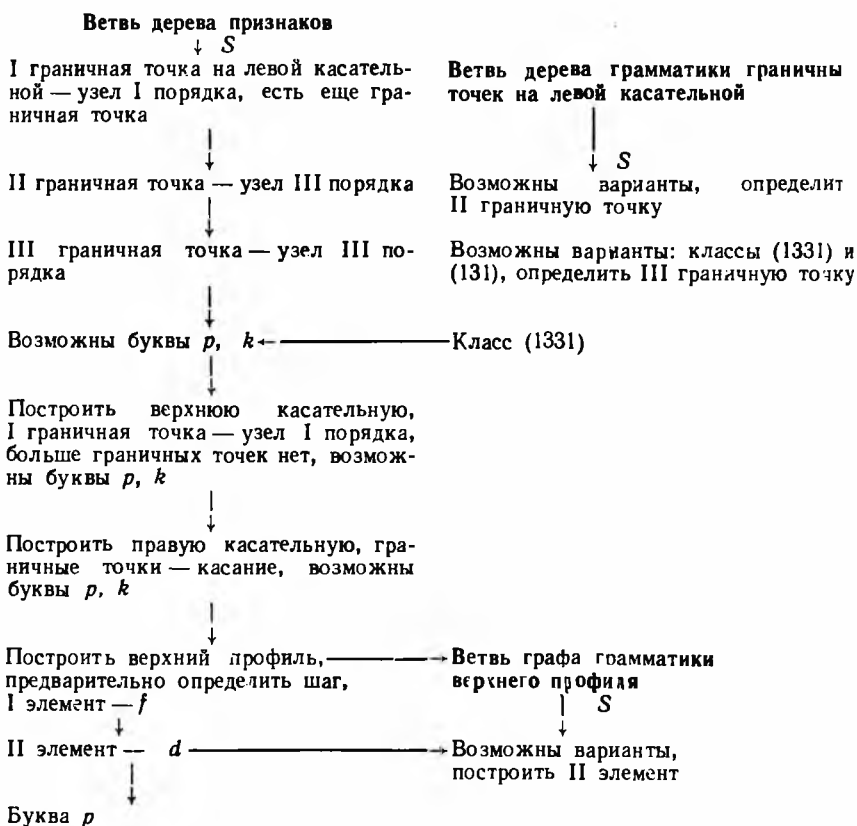
$$\eta = \frac{8 \cdot 79}{36} = 17,6, \quad \eta = \frac{8 \cdot 49}{131} = 3,0, \quad \eta = \frac{8 \cdot 62}{148} = 3,4$$

соответственно для рис. 3. Приведенные оценки демонстрируют высокую эффективность описанного алгоритма по сравнению с существующими, основанными на минимум однократном анализе всех точек написания с помощью их 8-окрестностей.

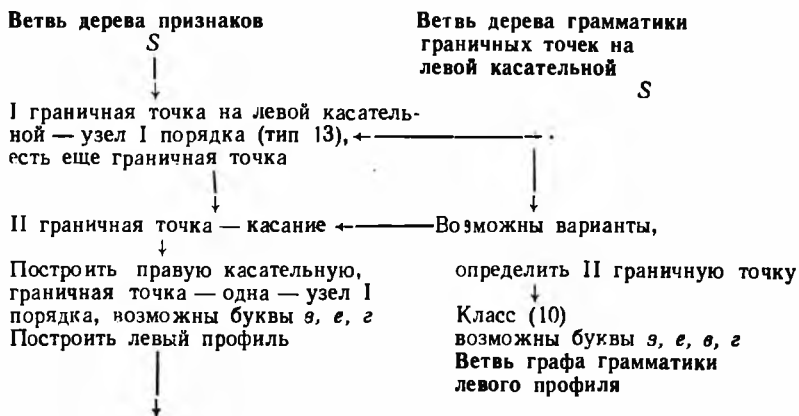
В целях иллюстрации работы алгоритма ниже приведены схемы процесса распознавания для каждого примера рис. 3. Нетрудно видеть, как происходит переход из дерева признаков в графы грамматик граничных точек на касательных и профилей. Так, изображение на рис. 3, *a* распознается при просмотре только точек на левой касательной до первой граничной точки и еще небольшого количества точек — для обнаружения факта существования второй граничной точки.

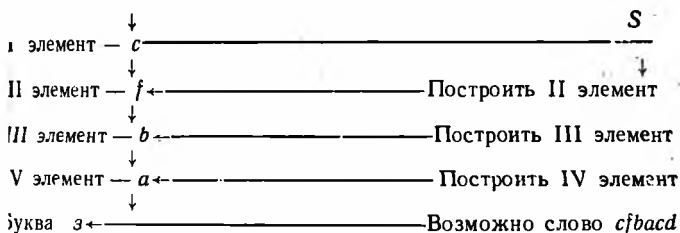


Использование грамматики позволяет не рассматривать все точки на левой касательной к написанию буквы на рис. 3, *b*.



Сокращение перебора за счет более полного использования информации о граничных точках и грамматики профиля иллюстрирует распознавание написания на рис. 3, в.





Таким образом, предложенный в данной работе алгоритм еще более экономичен, чем описанный ранее [7], поскольку он позволяет сократить перебор точек на изображении буквы юлее, чем в 3—5 раз вследствие применения лингвистического юдхода, что дает возможность прогнозировать форму части буквы без ее обследования. Так как показатель эффективности вычисляется по отношению к элементам матрицы изображения, он не зависит от используемой аппаратуры. Предложенный алгоритм универсален: он применим с указанной эффективностью к распознаванию знаков в таких различных алфавитах, как русский, английский, хинди, армянский, арабский, персидский, урду.

**Список литературы:** 1. Гусева Е. К. О распознавании знаков письменной речи.— В кн.: *Вопр. кибернетики*. М., 1982, с. 109—123. 2. Ito M. R., Chui T. L. On-line computer recognition of proposed standart ANSI (USA) handprinted characters.— *Pattern Recognition*, 1978, 10, p. 341—349. 3. *Skeletons: a link between theoretical and physical letter discriptions*/C. H. Cox, P. Coueignoux, B. Blesser, M. Eden — *Pattern Recognition*, 1982, 15, № 1, p. 11—22. 4. Шебанов В. М. О структурном распознавании стилизованных букв русского алфавита.— В кн.: *Методы решения нелинейных задач и обработка данных*. Днепропетровск, 1983, с. 176—180. 5. *Распознавание рукописных букв*/М. В. Андриевская, И. Я. Березная, Э. В. Бернотайтис, Р. М. Грановская — *Вычислительная техника и вопр. кибернетики*, 1982, вып. 19, с. 30—40. 6. Грановская Р. М., Березная И. Я., Григорьева А. Н. Восприятие и признаки формы.— М.: Наука, 1981.—208 с. 7. Грановская Р. М., Березная И. Я., Страхович Э. В. Эффективный алгоритм распознавания рукописных знаков.— *Пробл. преобразования информации*, 1985, вып. 22, с. 140—154. 8. Bereznaia I. J., Granovskaya R. M. Robot vision as a problem of reduction of exhaustive search for pixels.— *Artificial Intelligence: IFAC Proceeding Series*, 1981, № 9, p. 311—315.

*Поступила в редколлегию 17.12.84.*

УДК 801: 681.3.004.14

И. С. КРАВЧУК, канд. филол. наук

### МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД: ИСТОРИЯ, ПРОБЛЕМЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Как и любая кибернетическая дисциплина, машинный перевод (МП) возник в ответ на определенную общественную потребность. Современная наука и техника немислимы без

перевода научно-технических текстов. Однако, несмотря на огромные штаты переводчиков, переводится далеко не вся необходимая литература. В некоторых случаях скорость перевода оказывается недостаточной. Кроме того, если переводчик не является специалистом в той области знаний, к которой относится переводимый текст, перевод оказывается неточным.

Требования к идеальному переводчику известны: хорошее знание переводимого и переводящего языка, достаточно глубокое знание соответствующей предметной области. На практике же обеспечить эти идеальные требования оказывается невозможным. Например, в ВИНТИ поступает литература приблизительно по 160 отраслям знаний на 60 языках земного шара. Отсюда видно, что для перевода всей поступающей литературы требуется около 10 тысяч переводческих специализаций. Организовать подготовку переводчиков по такому количеству специализаций практически невозможно. С этим связано сравнительно большое количество лексических ошибок, допускаемых в процессе перевода научно-технической литературы. По данным Федерального бюро языков (ФРГ), лексические ошибки составляют более 50 % всех ошибок, обнаруживаемых в переводах.

По мере увеличения объемов научно-технической литературы все указанные тенденции усугубляются. Но особенно остро перечисленные проблемы встают в тех случаях, когда требуется одновременный перевод на несколько языков. Такого же рода дело в Европейском экономическом сообществе, службе переводов которого насчитывает 1300 переводчиков, выполняющих переводы на пять европейских языков. В связи со всеми указанными затруднениями и возникла необходимость использования ЭВМ для научно-технического перевода.

2. Мысль об автоматизации перевода появилась в связи с дискуссией о границах применения вычислительных машин непосредственно после второй мировой войны. Относительно автоматизации перевода тогда были высказаны две точки зрения, которые с соответствующими модификациями сохранились до настоящего времени. Одну из них, высказанную У. Уивером условно можно назвать сверхоптимистической. Она сводилась к тому, что основные элементы языка могут быть обнаружены с помощью криптографических приемов. Другую точку зрения — осторожно-пессимистическую — высказал Д. Бут, полагавший, что достижимой целью автоматизации может быть пословный перевод.

Уже в первых экспериментах в МП обнаружилось два подхода, два направления [1, с. 9—16]. Конечные их цели — автоматизация перевода — совпадают, а промежуточные цели, а также средства для их достижения отличаются.

Первое направление, которое может быть названо прикладным, ближайшей целью ставит практическую автоматизацию

перевода в том объеме, который достижим в приемлемые сроки. Наряду с промышленной эксплуатацией предусматривается систематическое улучшение алгоритмов перевода путем их эволюционного изменения. Второе направление, которое может быть названо поисковым, в качестве условия для развертывания действующих систем МП выдвигает необходимость предварительного решения всех проблем, возникающих на пути получения высококачественного перевода. При этом конкретные научные исследования зачастую не соотносятся непосредственно с МП и приобретают характер решения отвлеченно-познавательных задач по моделированию речевого поведения человека.

В связи с различием двух направлений различной представляется и история МП. Условно ее можно разделить на три периода: 50-е, 60-е и 70-е годы.

3. В первый период были равномерно представлены оба направления. Это время характеризовалось стремлением к машинным экспериментам, к алгоритмическому представлению лингвистических описаний.

Однако в связи с недостаточным опытом алгоритмизации обработки текстов отсутствовало реалистическое представление о трудностях, которые могут возникнуть на этом пути. Реально возникающие задачи нередко квалифицировались как лингвистически малоинтересные и заменялись проблемами, которые в большей степени гармонировали с проблематикой общего языкознания, но отдаляли конечную цель на неопределенный срок.

Указанные явления характерны для начального периода не только МП, но и всей кибернетики вообще. Общей причиной этих явлений была неоправданная экстраполяция: результаты, полученные на ограниченном материале (иногда на единственном примере), распространялись затем на весь объект в целом. Так называемый «кризис размерности» тогда еще не осознавался.

4. Первые эксперименты по МП выявили значительные трудности на пути автоматизации перевода: применение алгоритмов перевода к языковому материалу, отличному от того, на основании которого строился алгоритм, приводило к неприемлемым результатам. Реакция на эти трудности и определила содержание работ по МП в 60-е годы. Число коллективов, ведущих работу в русле первого, прикладного направления, резко уменьшилось. Этому в значительной мере содействовал документ, получивший не меньшую известность, чем меморандум У. Уивера, но сыгравший прямо противоположную роль — отчет Комиссии Национальной Академии наук США [2].

Выводы этой Комиссии сводились к следующему. Достигнутое к тому времени качество МП является неприемлемым. На основе имеющихся принципов оно вряд ли может быть улучшено. Поэтому целесообразно использовать средства для

решения фундаментальных проблем, лежащих на стыке лингвистики и математики, и на расширение подготовки обычных переводчиков. Именно данный документ послужил наиболее авторитетной основой для заключений о так называемом «кризисе автоматического перевода». В результате этого работы прикладного направления по МП в Советском Союзе фактически прекратились. В США же, несмотря на сокращение объема исследований в области МП, попытки получить престижный МП продолжались, что привело, по мнению специалистов, к отрыву наших коллективов в этой области примерно на 8—10 лет.

В то же время такие условия оказались благоприятными для второго направления в МП. Данное явление объясняется тем, что проблема МП стала оцениваться как чисто лингвистическая, а не как инженерная, что было характерно для начального периода истории МП. Главным для работ в этой области стал «лингвистический смысл», освобожденный от машинно-ориентированных алгоритмических форм представления результатов. Поэтому вполне объяснимым кажется то, что в рассматриваемый период второе направление оказалось более престижным и что произошло «подавление эмпириков».

5. Третий период в истории МП отмечен важными событиями для первого направления, а также всего МП в целом. В этот период на основе использования вычислительных машин третьего поколения был получен грубый (по некоторым оценкам — «ужасный»), тем не менее для специалистов понятный экономически приемлемый массовый МП научно-технической литературы. Изменился удельный вес и престиж первого направления. МП вновь стал рассматриваться не как чисто лингвистическая, а как инженерно-лингвистическая задача. В качестве ближайшей задачи выдвигается построение человеко-машинных систем МП, предусматривающих участие человека на определенных этапах процесса перевода.

В рамках поискового направления в этот период произошло переключение интересов с синтаксиса на семантику. Однако степень завершенности этих работ и степень их приложимости к реальным научно-техническим текстам оказывалась еще меньшей, чем в предыдущий период. Поэтому оценка реально достигнутой здесь результатов в настоящее время затруднена.

6. МП представляет собой попытку моделирования естественного процесса перевода текста человеком. Поэтому в данном случае возникает ряд вопросов, характерных для теории моделирования вообще, и среди них, в первую очередь, вопрос о соотношении естественного и машинного переводов. Среди множества типов моделей, которые выделяют по разным признакам, различают, в частности, модели дескриптивные и структурные. Первые имитируют только результаты функционирования

ния объекта, вторые — также способ функционирования. МП содержит в себе элементы и дескриптивного, и структурного моделирования. Именно поэтому для МП большое значение имеет объективное и достаточно детализированное описание естественного процесса перевода. В некоторых случаях выдвигаются возражения против необходимости такого изучения, при этом как аргумент проводится аналогия: современные летательные аппараты не имитируют механизм полета птицы. Однако в качестве контраргумента можно провести другую аналогию: бионикой реализованы многие естественные «патенты природы».

7. Необходимо осознавать существенные различия между естественным переводом и МП. Эти различия отражены в таких понятиях общей теории перевода, как перевод и интерпретация. В первом случае переход от текста на одном языке к тексту на другом происходит по заранее заданной системе соответствий. Во втором случае вначале на основе исходного текста мысленно воссоздается соответствующая ситуация, а затем эта ситуация описывается средствами другого языка. Как видим, интерпретация опирается на образное мышление человека. Что же касается ЭВМ, то в предвидимом будущем моделирование с их помощью образного мышления не планируется. Многие психологи и философы вообще сомневаются в возможности такого моделирования, поскольку для этого требуются не только органы чувств, аналогичные человеческим, но также и опыт оперирования с предметами внешнего мира, что предполагает участие в трудовой деятельности и включение в человеческий коллектив.

Отсутствие образного мышления у ЭВМ и невозможность интерпретации при МП могут быть компенсированы такими средствами.

Во-первых, можно расширять список переводных соответствий, передвигая таким образом границу, отделяющую перевод от интерпретации. Возьмем фразы, на примере которых иллюстрировалась невозможность автоматизации перевода: «Ключ упал в ведро» и «Ведро упало в ключ». Если единицей понимания и соответственно перевода для данных предложений считать отдельное слово, то выбор значения для слова «ключ» становится возможным только на основе интерпретации. Но если в машинный словарь поместить сочетания слов «ключ упал» и «упало в ключ», то в первом случае проблема выбора не возникает, а во втором — выбор хотя и не однозначный, но может быть сделан на основе большей вероятности для слова «ключ» в данном сочетании значений «отмычка». Таким образом, интерпретация заменяется переводом по заранее заданным соответствиям. Однако следует иметь в виду, что в новых текстах могут появиться и новые словосочетания, требующие интерпретации. Иными словами, возникает парадокс Ахиллеса

и черепахи [3, с. 48], так что надеяться на полную замену интерпретации переводными соответствиями нельзя.

Другой путь преодоления трудностей интерпретации состоит в представлении знаний, используемых при интерпретации, с помощью какого-нибудь искусственного языка. В настоящее время такой метод используется в работах по искусственному интеллекту для очень ограниченных предметных областей. Но даже если предположить существенное расширение предметных областей, необходимое для целей перевода, все равно можно предвидеть определенные трудности на этом пути. Естественный язык можно рассматривать как средство моделирования действительности. По сравнению с образным речевое мышление обеспечивает такую степень обобщения, которой далеко не всегда может соответствовать определенный образ. В то же время речевое мышление по сравнению с образным связано с огрублением и потерей некоторой части информации. Таким образом, попытка представить так называемые «энциклопедические» сведения о предметной области с помощью искусственного языка всегда будет связана с неполнотой таких сведений. В какой мере эта неполнота будет препятствовать автоматизации всякого рода интеллектуальных функций человека, в том числе и перевода, можно установить только экспериментально.

8. Укажем еще на одно отличие естественного и машинного перевода. В процессе перевода человек регулярно сталкивается с задачей распознавания, например, значения слова или синтаксической конструкции. Эта задача аналогична распознаванию зрительных образов, таких, как буквы, картинки, чертежи и т. д. Недаром установление синтаксической структуры предложения называют иногда распознаванием синтаксического образа предложения, а классификацию текстов по предметным рубрикам — распознаванием смыслового образа текста. В психологии различают сукцессивное (последовательное) и симультанное (одновременное) узнавание. Во втором случае происходит интегрирование нескольких признаков в одну неразлагаемую единицу, которая воспринимается по одному перцептивному показателю. При этом важно подчеркнуть, что симультанное восприятие не является быстро протекающим сукцессивным и не сводимо к последнему. Например, выражение лица не выводимо из совокупности отдельных признаков. По замечанию Л. Витгенштейна, «человеческий рот улыбается только на человеческом лице». Аналогичные факты, когда значение целого не равно сумме значений его частей, хорошо известны каждому лингвисту, причем вопрос здесь не исчерпывается только идиомами. Вернемся к уже рассмотренному нами примеру «Ведро упало в ключ». Если рассматривать его по частям «ведро упало» и «упало в ключ», то омонимия не разрешается.

Для ее разрешения требуется одновременное восприятие всех компонентов предложения.

Симультанное распознавание с помощью современных ЭВМ не реализуемо. И дело здесь не только в отсутствии ассоциативной памяти, но также и в отсутствии адекватного описания механизма симультанного восприятия. Приблизительно данный процесс при переводе может быть проимитирован путем включения в словарь всех сочетаний, требующих симультанного восприятия.

9. Рассмотренные отличия естественного и машинного переводов являются относительными. Они не устанавливают каких-либо абсолютных границ для автоматизации перевода. С помощью используемых средств и приемов, которые еще ждут практического освоения, область автоматизированного при переводе в принципе может расширяться неограниченно. Проблема, однако, заключается не в потенциальной осуществимости полной автоматизации перевода, а в установлении оптимального соотношения указанной области и используемых средств. Это соотношение, безусловно, будет изменяться с развитием теории и практики, а также технической базы МП.

10. В настоящее время соотношение «цели — средства» применительно к МП представляется следующим образом. Основным инструментом МП является автоматический словарь (АС). Помимо общенаучной лексики он должен содержать узкопрофилированную лексику отдельных подъязыков, а также большое количество словосочетаний (оборотов). В словарь оборотов включаются такие сочетания слов, которые не допускают послового перевода с точки зрения используемой в алгоритме «грамматики».

Необходимость включать в АС большое количество словосочетаний связана с невыясненностью вопроса о единицах перевода. Очевидно, что в каждом конкретном случае длина единицы перевода будет различной — от морфемы до предложения, в связи с чем возникает задача сегментации предложения на единицы перевода. Попытки описать процедуру такой сегментации и систематизировать сегменты не предпринимались. Словарь оборотов как раз и представляет собой задание единиц перевода на описанием, а перечислением.

Средствами АС разрешается многозначность далеко не всех слов. Если результаты работы АС предназначены непосредственно для пользователя, то многозначность необходимо свести до минимума. Этого можно достичь несколькими способами. Как уже говорилось, в некоторых случаях многозначность устраняется с помощью узкопрофилированных словарей. Но часто приходится прибегать к анализу контекста. Признаком для актуализации значения может быть синтаксическая конструкция (ср. «ему идет»), список слов, диагностирующих значение (ср. «идет (дождь, снег и т. д.)»), или семантический компонент,

характеризующий список (ср. «идет + (класс слов со значением «атмосферные осадки»)»).

В некоторых случаях для специалиста может оказаться полезным и пословно-пооборотный перевод. Он может явиться также основой для последующего постредактирования. В то же время практика показывает, что такой перевод серьезно затрудняет понимание текста, поскольку текст оказывается лишенным грамматической оформленности. Подавляющее большинство алгоритмов перевода включает в себя грамматический компонент. К настоящему времени предложено большое количество различных подходов к решению грамматических проблем МП. Эти подходы отличаются как способом представления грамматической структуры, так и способом ее обнаружения. Однако во всех случаях решаются одни и те же обобщенные задачи: обнаружение грамматической структуры входной фразы; преобразование обнаруженной структуры в структуру выходной фразы; построение фразы выходного языка.

11. В настоящее время построено несколько систем МП, которые используются в режиме промышленной эксплуатации. Все они основаны на так называемом методе «грубой» силы основными признаками которого является большой АС с большим числом оборотов, использование индивидуальных программ разрешения полисемии, нерасчлененность этапов и уровней в алгоритме перевода, а также использование человека на некоторых этапах перевода.

12. Первой системой такого рода явилась Джорджтаунская система МП [4], которая с 1964 г. используется в Национальной лаборатории атомной энергии (США) и в Информационном центре Евратома (Италия). Словарь системы русско-английского перевода содержит около 40 000 единиц. Средняя скорость перевода — 200—250 слов в секунду. Число сильно искаженных и непонятных фраз составляет 14 %. Среди причин искажений фраз неверный выбор переводного эквивалента встречается в два раза чаще, чем неверное преобразование синтаксической структуры. Тем не менее свыше 92 % потребителей оценили качество МП как «хорошее» и «приемлемое».

13. Другой известной системой промышленного МП является СИСТРАН [5]. Эта система с 1970 г. использовалась для русско-английского научно-технического перевода в отделе иностранной техники ВВС США. Во время совместного полета «Аполлон — Союз» с помощью этой системы проводился русско-английский и англо-русский МП. Система является многоязычной. В русской части словаря содержится более 300 000 слов и около 1500 оборотов. В словаре широко используется семантическая информация: эмпирическим путем было выделено около 300 семантических категорий, таких, как «химический процесс», «мера», «живое», «человек», «счетное». Результаты анализа предложения представляются в универсальной и независимой

от переводящего языка форме. Отличительная особенность системы — широкое использование трансформаций при переводе. Трансформации могут применяться к единицам различных уровней: словам, сочетаниям слов, предложениям. В отдельных случаях анализ и трансформации могут выходить за рамки отдельного предложения, например, при переводе местоимений. Система работает с постредактором. Однако более половины всех переводов может быть использовано и без редактирования. Скорость перевода составляет 300 000 слов в час.

14. В числе менее известных систем следует назвать ЛОГОС (США) для перевода с английского языка на вьетнамский, МЕТЕО (Канада) для перевода сводок погоды с английского языка на французский, КУЛЬТ (Гонконг) для перевода математических и физических текстов с китайского на английский язык.

К советским системам МП, ориентированным на промышленную эксплуатацию, принадлежит система АМΠΑР для англо-русского перевода, разработанная во Всесоюзном центре переводов, и система пословно-пооборотного перевода с интерредактированием общесоюзной группы «Статистика речи» [4, с. 64].

Большое число систем как в Советском Союзе, так и за рубежом находится в стадии разработки и эксперимента [6, с. 22—24].

15. Опыт использования промышленных систем МП привел к существенному изменению статуса этой области науки и техники. Целесообразность и возможность МП показаны на практике. Основная проблема МП в настоящее время — это совершенствование «грубого» перевода. Суммируя высказывания специалистов в области МП, можно сделать такие прогнозы относительно путей развития действующих систем МП [6, с. 19—20].

Сохранится ориентация АС на узкие подъязыки и типы текстов. Словари будут включать большое количество словосочетаний. Все шире в алгоритмах будет использоваться «признаковая» семантика. Наряду со строго бинарными системами будут разрабатываться многоязычные системы с независимым анализом и синтезом. В ближайшем будущем промышленные системы МП будут включать этап пост- или интерредактирования. Кроме того, системы МП будут обучаемыми, т. е. способными вносить изменения в свои данные на основе исправлений постредактора. Именно к человеко-машинным системам в свое время призывал Н. Винер: «Отдайте же человеку — человеческое, а вычислительной машине — машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин» [7, с. 82].

**Список литературы:** 1. Марчук Ю. Н. Проблемы машинного перевода.— М.: Наука, 1983.— 232 с. 2. Язык и машины: Применение электронных вычислительных машин в переводе и в исследовании языка.— НИИ. Сер. 2, 1968, № 8,

с. 25—37. 3. *Пиотровский Р. Г.* Инженерная лингвистика и теория языка.—Л.: Наука, 1979.—112 с. 4. *Dastert B. H.* User's evaluation of machine translation.—Georgetown MT System. 1963—1973. Univ. Texas, Austin, 1973.—106 p. 5. *Bruderer H.* Handbuch der maschinellen und maschinenunterstützten Sprachübersetzung: Automatische Übersetzung natürlicher Sprachen und mehrsprachige Terminologiedatenbanken.—München—New York, 1978.—864 S. 6. *Синтаксически компонент в системах машинного перевода: Обзорная информация/Н. Н. Леонтьева, З. М. Шалапина, Е. Е. Ловцкий и др. Сер. 2. М.: ВЦП, 1981, вып. 5.—131 с.* 7. *Винер Н.* Творец и робот.—М.: Прогресс, 1966.—103 с.

*Поступила в редколлегию 05.12.84*

---

УДК 331.015.11 : 65.015

*Е. В. ЖОРНИК*

### **ЛАБОРАТОРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

---

Существует большое количество операторских профессий, связанных с управлением подвижными или (как их еще называют) динамическими объектами. В число таких объектов входят различные транспортные средства (автомобили, самолеты, морские суда и т. п.), дистанционно управляемое промышленное оборудование (литейное, технологическое, некоторые виды роботов-манипуляторов и т. п.), управляемые с Земли космические летательные аппараты и ряд других устройств. Очевидно, что в будущем количество таких объектов будет возрастать. При этом роль человека-оператора в системах управления данного типа останется ведущей, так как в большинстве случаев осуществить формализацию целевых функций и задач по распознаванию сложных образов в целях передачи их выполнения ЭВМ в ближайшее время не представляется возможным.

Все множество систем управления подвижными объектами можно разделить на два больших класса. К первому из них относятся системы, в которых оператор движется вместе с управляемым объектом (так называемое самодвижение). Второй класс включает в себя системы, в которых оператор остается в стационарном положении, а управляемый объект находится в движении относительно него (так называемое дистанционное управление). Существует небольшая группа комбинированных систем. Примером одной из них может служить дистанционное управление беспилотным летательным аппаратом с борта пилотируемого самолета.

Причина такой классификации — существенно различный характер деятельности оператора в названных классах систем.

Это различие в основном касается протекания перцептивных процессов. Для систем с самодвижением характерно восприятие движения окружающей зрительной картины. В формировании пространственно-временных образов наряду со зрением важная роль принадлежит ощущениям, поступающим от вестибулярного, проприоцептивного, слухового и тактильного входов [1]. При дистанционном управлении динамический объект находится в движении относительно оператора и неподвижной окружающей картины. Естественно, что роль контактной рецепции в данном случае существенно ниже, чем при самодвижении. В случае дистанционного управления оператор иногда управляет поочередно или одновременно несколькими объектами.

В зависимости от особенностей управляемого объекта, уровня автоматизации, профессионального мастерства оператора и некоторых других факторов деятельность в системе может приобретать существенно различное содержание. Так, в самых простых случаях это могут быть действия типа реакции на движущийся раздражитель (РДО), а в самых сложных — принятие решений, требующих повышенной ответственности, например, при управлении движением поездов на диспетчерском участке.

С точки зрения психологического изучения операторского управления подвижными объектами имеют важное значение следующие факты. Многие авторы указывают на ведущую роль в рассматриваемой нами деятельности процессов прогнозирования на определенный промежуток времени динамики контролируемых параметров движения. Соответствующий обзор работ по данному вопросу приведен в монографии [2].

Любая целесообразная деятельность требует привлечения процессов прогнозирования, однако для операторского управления подвижными объектами эти процессы приобретают особое значение. Дело в том, что необходимость прогнозирования обусловлена двумя особенностями рассматриваемых систем. Первая из них состоит в том, что динамические объекты, как правило, обладают инерционностью. Поэтому управляющие воздействия, производимые оператором и получаемый динамический эффект не синхронны. Например, поворот штурвала на океанском судне приводит к изменению курса со значительным опозданием, а для остановки поезда требуется путь свыше одного километра. Это касается практически любого управляющего воздействия, так как известно, что ни одно изменение скорости или траектории движущегося тела не происходит мгновенно. По этой причине оператор должен принимать решения сообразно с прогнозируемыми параметрами движения.

Вторая особенность состоит в том, что скорость переработки информации оператором может оказаться недостаточной для эффективного управления быстро перемещающимися объектами. Так, при РДО человек должен нажать кнопку точно в момент,

когда движущаяся метка совместится с неподвижной. Однако в тех случаях, когда реагирование производится без прогнозирования этого момента, оно, как правило, запаздывает на время, равное латентному периоду простой сенсомоторной реакции. Только в том случае, когда оператор предвидит будущее состояние параметров движения, его деятельность окажется эффективной.

Не менее важный психологический факт связан с особенностями получения оператором текущей информации. С точки зрения механики движение объектов имеет строго детерминированный характер. Это значит, что обладая достаточно полными сведениями о физических силах, действующих на тело, мы можем предвидеть его динамику. Однако в реальной деятельности оператор имеет дело не с величинами, характеризующими физические силы, а с воспринимаемыми (большею частью визуально) внешними признаками, которые являются побочными эффектами этих сил или косвенно связаны с ними. Кроме того, для управления подвижными объектами не всегда обязательно знать законы механики, поскольку выработанные навыки замещают такого рода знания. Таким образом, физические переменные образуют множество, которое в преобразованном виде отображается в множестве перцептивных признаков. Второе множество используется при выборе оператором управляющих воздействий. Например, коэффициент трения может быть оценен по гладкости поверхности, ускорение — по ее уклону, масса — по наличию груза, сопротивление воздуха — по признакам, связанным с направлением ветра и т. д.

В литературных источниках по рассматриваемому нами виду операторской деятельности приводится большое количество данных, касающихся конкретных систем управления (автомобили, самолеты и т. п.). Кроме того, значительное число работ посвящено исследованиям на абстрактных моделях типа компенсаторного и преследующего слежений, задач с пересекающимися траекториями и т. д. В публикациях первого типа, как правило, устанавливаются некоторые факты, касающиеся конкретных видов операторской деятельности. Однако заданность реальной обстановки и многообразие влияющих факторов ограничивают возможности исследователей по созданию экспериментальных ситуаций. С другой стороны, абстрактные модели хотя и лишены этих недостатков, получаемые с их помощью данные представляют скорее академический, чем прикладной интерес. Учитывая сказанное, первый этап настоящей работы решено посвятить усовершенствованию исходной модели для проведения исследования.

В лаборатории создана специальная электронная моделирующая установка. С ее помощью можно на экране видеодисплея получать изображения движущихся объектов (светящиеся метки). Устройство предусматривает выполнение следующих функ-

ций: выбор исходных скоростей и ускорений движения объекта с помощью пульта экспериментатора; установку величин ускорений, которыми управляет испытуемый; управление с пульта испытуемого путем сообщения объекту положительных или отрицательных ускорений; задание дополнительных визуальных стимулов на экране дисплея.

В состав экспериментальной установки входят: аналоговая вычислительная машина, блок формирования движущихся стимулов, пульт экспериментатора, пульт испытуемого. Принцип работы экспериментальной установки состоит в следующем. С помощью одного из интеграторов аналоговой машины формируются равномерно изменяющиеся электрические напряжения. Скорость изменения этих напряжений задается группой потенциометров, подключаемых ко входам интегратора. Подключение того или иного потенциометра осуществляется с помощью органов управления пультов экспериментатора или испытуемого. Сформированные таким образом напряжения поступают на вход блока формирования движущихся стимулов. При этом изменение скорости и направления движения стимулов прямо пропорционально значению сформированного напряжения.

Экспериментатор с помощью кнопок своего пульта задает исходные скорости и ускорения объекту, а испытуемый аналогичным способом придает управляющие ускорения. Таким образом, созданная экспериментальная установка позволяет моделировать в лабораторных условиях операторское управление скоростью движущегося объекта при заданной (прямолинейной) траектории.

Первой задачей, смоделированной на установке, было выполнение оператором торможения движущегося объекта до его полной остановки в заданной точке. Из наблюдений известно, что даже опытный оператор (шофер, оператор железнодорожной сортировочной горки) выполняет данную задачу в несколько приемов. В связи с этим возникает вопрос: какой стратегией пользуется оператор при выборе количества и продолжительности такого рода парциальных торможений и как влияет скорость движения объекта на этот выбор.

Априорная структура принятия решения в данном случае была следующей. При появлении движущегося объекта в поле зрения оператора производится оценка его скорости с учетом расстояния до заданной точки остановки. Благодаря этому определяется момент начала торможения. Критерием для его определения является то обстоятельство, что при раннем нажатии на кнопку, включающую торможение, увеличивается общее время выполнения задачи, а это нежелательно и в реальных системах, и в нашей экспериментальной задаче, так как испытуемые были проинструктированы выполнять торможение при максимальном приближении к точке остановки. Если поздно

начать торможение, движущийся объект выходит за заданную точку остановки.

Определив таким образом момент начала торможения, оператор нажимает кнопку, что приводит к замедлению движения управляемого объекта с постоянным отрицательным ускорением. Момент отжатия кнопки определяется оператором по образующейся в результате торможения скорости. Если эта скорость уменьшилась настолько, что остановка может произойти раньше заданной точки, то оператор отпускает кнопку. После этого объект продолжает двигаться с достигнутой скоростью. В случае приближения к заданной точке испытуемый выполняет второе парциальное торможение, а после него — третье и т. д., до полной остановки.

В опытах принимали участие четыре испытуемых (мужчины от 24 до 36 лет), которые выполнили по 200 торможений на различных скоростях (от 0,5 до 6 угл. град/сек). Для выхода испытуемых на стационарный уровень обученности использовалась специальная серия проб, в которой сформированность навыка торможения оценивалась по точности управляющих воздействий.

В ходе опытов установлено, что количество парциальных торможений не имеет прямой зависимости от исходной скорости движения объекта. Испытуемые, как правило, при высоких скоростях в результате первого продолжительного торможения значительно замедляли движение, что облегчало дальнейшее выполнение задачи. При малых скоростях первое торможение было кратковременным, причем момент отпускания кнопки выбирался без учета образующейся в ходе торможения скорости, так как продолжительность нажатия кнопки составляла 60—150 мс, что недостаточно для качественной оценки. Поэтому испытуемый оценивал образовавшуюся скорость уже после отпускания кнопки и в соответствии с этой оценкой принимал решение о продолжительности следующего нажатия.

Таким образом, хотя количество парциальных торможений при различных скоростях существенно не меняется, т. е. внешняя сторона деятельности остается неизменной, стратегия принятия оператором решений существенно изменяется. При переходе от больших скоростей к малым оператор перестраивается от управления по образующейся в ходе торможения скорости к управлению по дозированным временным интервалам торможения.

Серия опытов не только позволила установить важную особенность принятия оператором решения при управлении подвижными объектами, но и послужила основой для выдвижения новых гипотез, чтобы организовать дальнейшее исследование.

**Список литературы:** 1. *Dicghas I.* Psychophysics of visual-vestibular interaction.— *Fortschr. zool.*, 1983, 28, p. 253—259. 2. *Ломов Б. Ф., Сурков Е. Н.* Антиципация в структуре деятельности.— М.: Наука, 1980.—280 с.

*Поступила в редколлегию 25.12.84.*

*И. В. ЛИТВИНЕНКО***ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПОЗНАВАНИЯ  
ЕСТЕСТВЕННОЯЗЫКОВОГО ВЫРАЖЕНИЯ КАТЕГОРИИ ВРЕМЕНИ  
В ИНТЕРФЕЙСЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С БАЗОЙ ДАННЫХ**

Появление построенных на базе ЭВМ автоматизированных хранилищ информации — баз данных (БД), в которых человек стал хранить сведения о различных предметных областях окружающей его реальности, вызвало необходимость построить эффективные средства для обеспечения интерфейса человека с БД и стимулировало развитие работ, направленных на решение проблемы организации такого интерфейса в наиболее привычной для человека форме — на естественном или близком к естественному языку доступа к БД.

При построении средств обеспечения естественного языкового интерфейса с БД нельзя не учитывать, что для многих применений БД учет временных характеристик информации, их соотношенности между собой и с текущим моментом подачи запроса к БД имеет иногда первостепенное значение. В связи с этим возрастает значимость решения задачи предоставления пользователю возможности свободно оперировать временными понятиями, применяя для этого привычные языковые средства выражения. Это, в свою очередь, требует разработки методов формализованного описания существующего многообразия естественных языковых средств выражения категории времени в целях достижения адекватной и однозначной интерпретации СУБД используемых человеком временных понятий.

Проблема формализации естественного языкового выражения категории времени рассматривалась рядом исследователей [1—3]. Отличием предлагаемого подхода является разработка специальной лингвосемантической модели, описывающей процесс «понимания» машиной языка человека-пользователя БД. Эта модель учитывает особенности рассматриваемого процесса общения, имеющего целенаправленный характер и осуществляемого на ограниченном языке, который можно рассматривать как подъязык русской деловой прозы [4].

Реализация лингвосемантической модели распознавания временной компоненты естественного языкового запроса к БД подразумевает наличие следующих факторов.

1. Существование в БД информационных элементов, отражающих временные характеристики данных. Обычно значение таких характеристик указывает на начало и, если необходимо, на конец временного интервала, который с требуемой в данном

приложении степенью точности описывает временные границы отраженного в базе данных события.

2. Доступность для использования машиной информации о текущем (реальном) времени обращения пользователя к БД.

3. Наличие в памяти машины знаний, отражающих концептуальную модель временного континуума, характерную для пользователей конкретной БД. Эти знания включают в себя как общие (для всех приложений), так и частные (для данного приложения) сведения о временных периодах, характеризующих способы дискретного членения временной шкалы, их границах и принятых соотношениях этих периодов между собой. В отдельных случаях возникает потребность в хранении знаний о времени совершения событий, ссылки на которые могут встретиться в языке пользователя как альтернатива указанию конкретной координаты на временной оси, а также знаний, позволяющих оценить качественные и количественные характеристики используемых временных квантификаторов. В нашей реализации перечисленные сведения хранятся в системной базе знаний (БЗ).

Чтобы формально описать различные способы естественно-языкового выражения временной компоненты в запросе к БД (как и для описания входного языка в целом), предлагается использовать специально разработанный метаязык. Этот метаязык внешне подобен БНФ, однако существенное его отличие состоит в том, что он включает средства, позволяющие описывать глубинную синтаксическую структуру во взаимосвязи с семантическими характеристиками конкретных элементов исходного текста и особенностями ситуационного контекста. При использовании данного языка семантические особенности входного текста эксплицируются путем осуществления одновременно с анализом синтаксической структуры обрабатываемого участка текста дополнительной проверки ряда логико-семантических условий, которые можно рассматривать как фильтр, выделяющий из множества возможных путей продолжения анализа лишь наиболее подходящие (относительно выделенной предметной области и используемого контекста) пути. Логико-семантические условия представляют собой логические предикаты, заданные над значениями специальных лингвосемантических функций, с помощью которых осуществляется доступ к словарю транслятора или системной БЗ как на этапе распознавания входного текста, так и на этапе генерации семантически соответствующей ему выходной информации (в рассматриваемом случае в форме, воспринимаемой системой управления базами данных — СУБД).

С целью выявления факторов, определяющих виды формализации временных категорий, на ряде подъязыков деловой прозы был проведен анализ различных способов естественно-языкового выражения временного плана. Этот анализ позволил

установить следующие основные группы используемых человеком в деловом общении языковых средств:

именные беспредложные словосочетания, в качестве распространителей которых могут выступать элементы таких классов: другие имена («день недели»), количественные числительные («два дня»), порядковые числительные, прилагательные и причастия («вторая неделя», «последний год», «следующая пятилетка»);

именные предложные словосочетания, включающие все указанные выше виды распространителей («за два года до начала первой пятилетки»);

глаголы в соответствующем временно-видовом оформлении («поставили», «поставят», «будут поставлять»);

служебные слова-координаты («уже», «еще», «когда», «после»);

модальные слова («нужно», «должен», «могут»).

При всем указанном качественном разнообразии арсенала языковых средств выражения темпоральной локализации все они достаточно полно и адекватно могут быть описаны в рамках одной лингвосемантической модели, в основу которой положена концептуальная схема, отражающая понимание человеком временной координации событий. Фактически лингвосемантическая модель выражает соответствие между структурами естественного языка и концептуальными представлениями человека-пользователя БД о времени.

При организации интерфейса с БД следует учитывать ограниченность «машинного понимания» временной ориентации, так как каждая хранимая в БД временная координата события — это в основном только одно или пара значений, указывающих на начало или на начало и конец временного интервала, характеризующего событие.

Разработчики различных систем, в которых возникает необходимость оперировать с временными понятиями, как правило, осуществляют выбор между двумя возможными представлениями временных данных: точечно-интервальным [1, 2] и квантитативным [3, 5]. В нашем подходе используется квантитативное представление временных данных, согласно которому, когда говорится, что некоторое событие произошло 14 апреля 1976 года, имеется в виду не «точка на временной оси», а некоторый период, однозначно идентифицируемый своим началом как интервал в ряду других (13 апреля, 14 апреля, 15 апреля...). При этом продолжительность такого интервала всегда может быть выражена квантитативно через соответствующую единицу более низкого ранга.

На наш взгляд, квантитативный подход к интерпретации временной компоненты концептуальной схемы интерфейса с БД в большей степени отражает тот факт, что события, информация о которых хранится в БД, не молниеносны (в сравнении,

например, с противоположным подходом, используемым во временной логике Прайора [1, с. 24—25]). Кроме того, количественный подход облегчает вложение одного дискретного шага временной шкалы в другой с любой степенью дробности, что приобретает особое значение, например в случае объединения нескольких баз данных в единый банк данных.

Исходя из количественного подхода проведено исследование предметной области ВРЕМЯ и в общем плане, и во взаимосвязи с предметными областями, задаваемыми конкретными БД, с целью проведения более детальной дифференциации общей концептуальной схемы времени и выделения в ней основных семантических отношений. В результате установлено, что концептуальная схема включает следующие общие для любого приложения блоки, отражающие различные виды концептуализации временных координат:

— ВРЕМЯ как общая категория, выражающая временные координаты объекта в некоторой проблемной среде или указывающая на принципиальное наличие темпоральной локализации объекта ( $t$ );

— ВРЕМЯ МЕТРИЧЕСКОЕ ( $t_{\text{метр}}$ ), описывающее иерархию изоморфных единиц измерения времени и лежащее в основе количественной оценки всех остальных видов временной координации событий;

— ВРЕМЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ( $t_{\text{кол}}$ ), характеризующее объект через количество вложенных в данный интервал метрических единиц измерения;

— ВРЕМЯ ТЕКУЩЕЕ ( $t_{\text{тек}}$ ) — идентифицирующее текущее реальное время обращения пользователя к БД;

— ВРЕМЯ ДЕЙКТИЧЕСКОЕ ( $t_{\text{дейк}}$ ) — время, устанавливаемое относительно  $t_{\text{тек}}$  и связанное с моментом разговора, в процессе общения человека с БД реализуется как морфологическое время.

Перечисленные выше элементы концептуальной схемы задают темпоральную локализацию изолированного события, не соотнося его с другими, в силу чего они остаются независимыми от какого-либо конкретного приложения (конкретной предметной области БД).

Соотнесенность действий во времени на уровне концептуальной схемы может выражаться через ВРЕМЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ( $t_{\text{отн}}$ ), которое позволяет описать взаимосвязь темпоральной локализации одного события относительно другого (других) по признакам  $\pm$ ОДНОВРЕМЕННОСТЬ,  $\pm$ ПРЕДШЕСТВОВАНИЕ. Концептуально близким к  $t_{\text{отн}}$  является ВРЕМЯ ПОРЯДКОВОЕ ( $t_{\text{пор}}$ ), средствами которого фиксируется место события, определяемое путем указания порядка следования соответствующего временного интервала в ряду других.

Ряд видов временной локализации зависит от конкретного приложения (предметной области БД). Основные из них:

**ВРЕМЯ УЗУАЛЬНОЕ** ( $t_{уз}$ ) — договорное время, значение которого сформировано на основе временных представлений, сложившихся в данной предметной области; **ВРЕМЯ КАЧЕСТВЕННОЕ** ( $t_{кач}$ ) — устанавливается экспериментально для каждого приложения.

Отдельное место в концептуальном представлении занимает **ВРЕМЯ СОЦИАЛЬНОЕ** ( $t_{соц}$ ), которое задает временную координату общественно значимых событий с точностью, диктуемой конкретным приложением.

Перечисленные выше виды временной локализации составляют достаточно полное покрытие  $\{T\}$  временных информационных структур концептуального уровня базы данных. Оперирование отдельными временными информационными элементами указанных структур предполагает наличие в системной базе знаний ряда специальных сведений. Так, обработка  $t_{метр}$  требует хранения в БЗ отношения вложенности, которое на лексическом уровне может выражаться как ...«день» $\subset$ «неделя» $\subset$ «месяц» $\subset$ «год» $\subset$ «пятитетка»... В случае  $t_{соц}$  необходимо в БЗ хранить начальную дату известного пользователю события или же пару дат — начальную и конечную. Обработка  $t_{уз}$  предполагает хранение в БЗ сведений о периодах, продолжительность которых определена по договоренности. Качественное время («часто», «редко») задается в БЗ пороговыми значениями частоты повторяемости действий. В базе знаний должно также находить отражение наблюдаемое в языке пользователя явление корреляции значений обстоятельственных параметров с лексическими значениями предикатных слов, которое можно проиллюстрировать на примере обработки понятия, выражаемого словом «сейчас», подразумевающего разную продолжительность периода и измеряемого в разных величинах в зависимости от того, имеется в виду действие **ПОСТАВКА** или, скажем, **КИПЯЧЕНИЕ**.

Анализ концептуальной модели пользователя позволил авторам на основе предположения о влиянии концептуального представления пользователя на выбор семантико-синтаксической структуры языка запросов определить следующие лингвосемантические функции, соответствующие указанным типам временной локализации:

$f_{им}$  — функция, определяющая по имени конкретного временного периода его порядковый номер (по принятой системе упорядочения) среди аналогичных периодов во временном интервале более высокого ранга, например  $f_{им}$  («февраль») = 2;

$f_{пер}$  — функция, используемая для получения вершины в иерархическом дереве метрического времени при следовании вверх (+) или вниз (-) по ветви от текущей вершины, например  $f_{пер}$  («месяц», +) = «год»,  $f_{пер}$  («месяц», -) = «неделя»;

$f_{кол}$  — функция, значение которой есть число, равное количеству полных вложений единиц измерения более низкого ранга

(первый параметр) во временной период более высокого ранга (второй параметр), например  $f_{\text{кол}}$  («день», «январь») = 31,  $f_{\text{кол}}$  («неделя», «январь») = 4.

В отдельных случаях данная функция для получения требуемого результата использует дополнительную информацию, в качестве которой может выступать значение специального характеристического регистра, определяемое на предыдущих этапах обработки исходного запроса, например  $f_{\text{кол}}$  («день», «февраль») = 29, если значение характеристического регистра указывает на високосный год, и  $f_{\text{кол}}$  («день», «февраль») = 28 для невисокосных лет;

$f_{\text{тек}}$  — специальная функция запроса астрономического времени. Выдаваемое значение — текущее реальное время обращения человека к СУБД;

$f_{\text{пор}}$  — функция, позволяющая получить начало временного интервала на основе заданного имени временного периода низшего уровня (первый аргумент), его порядкового номера (второй аргумент) в упорядоченной последовательности других периодов того же уровня в рамках объемлющего временного периода более высокого уровня, начало которого задается третьим аргументом или же берется из системной БЗ. Например, темпоральному высказыванию «первая неделя второго месяца третьего года одиннадцатой пятилетки» будет соответствовать следующая суперпозиция, построенная на базе рассмотренной лингвосемантической функции:  $f_{\text{пор}}$  («неделя», 1,  $f_{\text{пор}}$  («месяц», 2,  $f_{\text{пор}}$  («год», 3,  $f_{\text{пор}}$  («пятилетка», 11,  $\emptyset$ ))). Интерпретация этого выражения с использованием информации, хранимой в базе знаний, позволяет получить дату названного временного периода в форме, воспринимаемой СУБД;

$f_{\text{дейк}}$  — функция интерпретации морфологического (грамматического) времени. Если оно релевантно для процесса распознавания, то, например,  $f_{\text{дейк}}$  («будет поставлять») определит интервал, начало которого устанавливается значением функции  $f_{\text{тек}}$ , а конец уходит в бесконечность; соответственно  $f_{\text{дейк}}$  («поставляет») определит интервал либо как  $(-\infty, \infty)$ , либо (значительно чаще) как интервал, связанный через узуальные отношения с моментом времени, определяемым значением функции  $f_{\text{тек}}$ , аналогично  $f_{\text{дейк}}$  («поставил») очертит интервал  $(\infty f_{\text{тек}})$ ;

$f_{\text{соц}}$  — функция, используемая для формализации временных координат, социально осознанных носителями ограниченного подъязыка, значения функции задаются таблично, например в виде начала соответствующего события;

$f_{\text{уз}}$  — осуществляет интерпретацию временных элементов текста, договоренность о значении которых имела место в период разработки концептуального временного фрагмента, кроме того, значения функции могут быть установлены в результате соответствующих статистических исследований и анкетирования.

Оперирование пользователем средствами относительной вре-

менной координации ( $t_{отн}$ ) привело к необходимости введения отношений «произойти одновременно» ( $R_1$ ) и «произойти раньше» ( $R_2$ ), описываемых двуместными логическими предикатами  $R_1(X, V)$  и  $R_2(X, V)$  соответственно.

Использование построенного на базе разработанного метаязыка описания различных способов естественного языкового выражения временной соотнесенности событий позволяет эффективно обрабатывать языковые конструкции с темпоральным значением в рамках системы трансляции с естественного языка запросов пользователя во внутреннее представление БД. Описанный в данной работе подход реализован на ЭВМ ЕС-1033 в среде операционной системы ОС ЕС. Общий объем занимаемой при работе транслятора памяти — 140 К. Время обработки ~0,3 с:

Список литературы: 1. *Поспелов Д. А.* Логико-лингвистические модели в системах управления. — М.: Энергия, 1981. — 228 с. 2. *Полов Э. В.* Общение с ЭВМ на естественном языке. — М.: Наука, 1982. — 259 с. 3. *Boulour A., Anderson T. L., Dekeyser L. J. and Wong H.* The Role of Time in Information Processing: A Survey, ACM SIGMOND RECORD, 1982, 12, № 3, p. 47 — 51. 4. *Ершов А. П.* К методологии построения диалоговых систем: феномен деловой прозы. — Новосибирск, 1979. — 60 с. (Препринт ВЦ СО АН СССР; 79-156). 5. *Anderson T. L.* The Database Semantics of Time, Doctoral thesis, University of Washington, 1981. — 200 p.

*Поступила в редколлегию 27.12.84.*

---

УДК 510.62

*В. Д. НАГОРНЫЙ, Г. А. ПРАСОЛ,  
С. Ю. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО*

### **О НОРМАЛИЗАЦИИ СЛИТНОЙ РЕЧИ ПО СРЕДНЕМУ УРОВНЮ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ**

---

Известно, что орган слуха человека нечувствителен к медленным (инфразвуковым) колебаниям давления воздуха. Такие колебания возникают постоянно и являются серьезной помехой при автоматическом распознавании слитной речи. Наше ухо, по-видимому, каким-то образом стабилизирует среднее значение диаграммы, не меняя ее формы. Этим достигается нормализация слитной речи по среднему уровню звукового давления. В статье рассматривается математическая модель такой нормализации и предлагается способ ее технической реализации.

Пусть  $x(t)$  — исходная, а  $y(t)$  — нормализованная по среднему уровню диаграмма звукового давления;  $t$  — время. Простейшее преобразование, обеспечивающее нормализацию среднего уровня функции  $x(t)$  имеет вид

$$T \frac{dy}{dt} + y = T \frac{ax}{dt}. \quad (1)$$

Здесь  $T$  — постоянная времени, с которой осуществляется нормализация. Оператор  $y(t) = F(x(t))$ , задаваемый дифференциальным уравнением (1), примем в качестве математической модели нормализации среднего уровня диаграммы звукового сигнала органом слуха человека. Пример действия оператора  $F$  показан на рис. 1. На диаграмме *a* имеется скачок среднего уровня звукового давления  $x(t)$ . Возникшее отклонение среднего

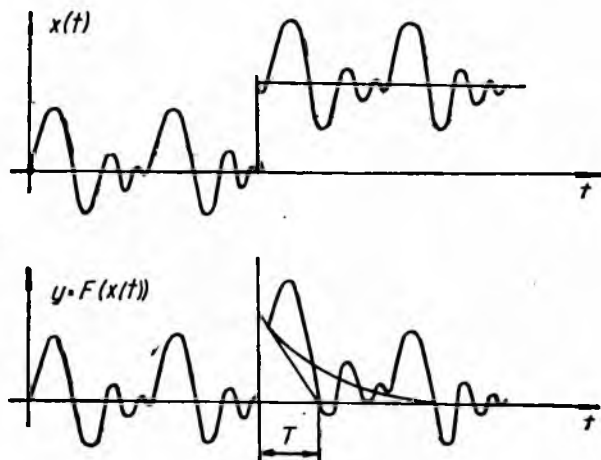


Рис. 1. Пример действия нормализатора среднего уровня диаграммы звукового давления

уровня от нулевого значения постепенно исчезает в нормализованном сигнале  $y(t)$ , причем тем скорее, чем меньше постоянная времени  $T$  (диаграмма *б*). Вопреки рисунку, постоянная времени  $T$  должна иметь гораздо большее значение, иначе в процессе нормализации исказится форма акустической диаграммы. Для диаграмм звукового давления речевых сообщений характерно медленное изменение среднего уровня. В этом случае при правильном выборе параметра  $T$  нормализатор будет эффективно стабилизировать среднее значение диаграммы на нулевом уровне. Скачкообразное изменение среднего уровня на диаграмме рис. 1 принято чисто условно, только для того, чтобы пояснить принцип действия модели нормализации и роль ее параметра  $T$ .

Чтобы осуществить экспериментальную проверку модели нормализации, нужно предварительно создать аппаратуру, формирующую нормированный сигнал  $y(t)$  по заданному сигналу  $x(t)$ . В этом случае, предъявляя испытываемому поочередно звуки  $x(t)$  и  $y(t)$ , можно выяснить, звучат они для него одинаково или нет. В случае положительного ответа можно экспериментально определить наименьшее (критическое) значение  $T_{кр}$  постоянной времени  $T$ , обеспечивающее равенство звучания сигналов  $x(t)$  и  $y(t)$ . Схема экспериментальной установки изо-

бражена на рис. 2. Звук  $x(t)$ , задаваемый экспериментатором, от микрофона 1 или иного источника электрического сигнала, повторяющего диаграмму звукового давления, поступает на вход нормализатора уровня 2. В ответ нормализатор уровня на своем выходе формирует в соответствии с моделью  $F$  колебание электрического потенциала  $y(t)$ . С помощью ключа 3 и телефона 4 звуки  $x(t)$  и  $y(t)$  поочередно предъявляются испытуемому, который на слух устанавливает факт их равенства или неравенства.

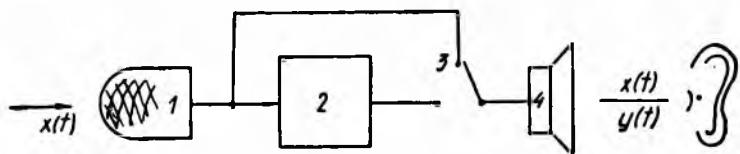


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Нормализатор звука будем строить из цифровых элементов смешанного типа, предназначенных для обработки чисел, представленных и параллельными, и последовательными кодами. Принцип построения таких элементов описан в работе [1, с. 112÷121]. Для создания нормализатора уровня потребуется элемент, умножающий  $n$ -разрядный двоичный код числа  $x$  на коэффициент  $2^p$ , где  $p$  — фиксированное целое число. Если  $p$  — положительное, элемент сдвигает код числа  $x$  на  $p$  разрядов вправо, если отрицательное — влево. В результате получаем двоичный код числа  $y = 2^p x$ .

На рис. 3, а, показана схема устройства, умножающего число  $x = 0, x_1, x_2 \dots x_n$  на  $2^p$  при отрицательном  $p$ , на рис. 3, б — при положительном. Символы  $x_1, x_2, \dots, x_n$  обозначают двоичные разряды дробной части кода числа  $x$ . Значения переменной  $x$  должны находиться в пределах  $0 < x < 1$ . На рис. 3, в изображено условное обозначение описываемого элемента.

На рис. 4, а дано обозначение суммирующего элемента, складывающего  $n$ -разрядные коды чисел  $x$  и  $y$  и формирующего результат снова в виде  $n$ -разрядного двоичного кода суммы  $z$ . Для правильной работы сумматора необходимо, чтобы и слагаемые, и сумма находились в пределах от 0 до 1. На рис. 4, б представлено условное обозначение преобразователя  $n$ -разрядного двоичного кода числа  $x$  в последовательный частотно-импульсный код того же числа. Принцип действия преобразователя описан в работе [1, с. 118, 150]. На рис. 4, в приведено обозначение формирователя  $n$ -разрядного двоичного кода интеграла  $z$  разности чисел  $x$  и  $y$ , выполняющего операцию

$$z = z_0 + c \int_0^t (x - y) dt. \quad (2)$$

Код  $\epsilon_z$  числа  $z$  ( $0 < z < 1$ ) формируется в  $m$ -разрядном (если  $m > n$ ) или  $n$ -разрядном (если  $m \leq n$ ) двоичном регистре интегратора. В начальный момент дискретного времени ( $i = 0$ ) в регистр заносится код  $\epsilon_{z_0}$ . Числа  $x$  и  $y$  поступают в ин-

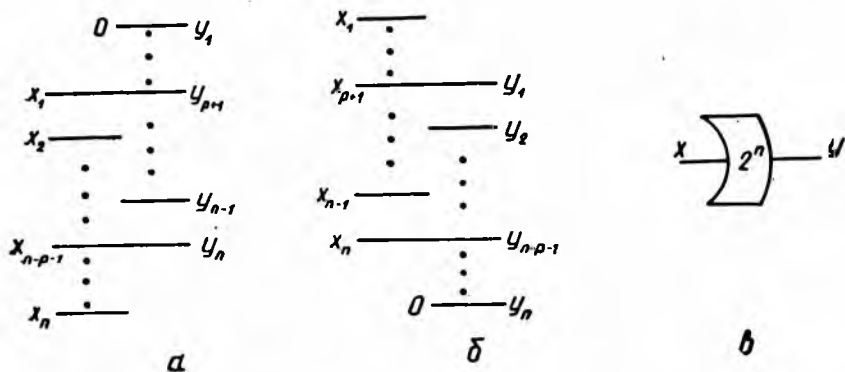


Рис. 3. Логическая схема множительного устройства

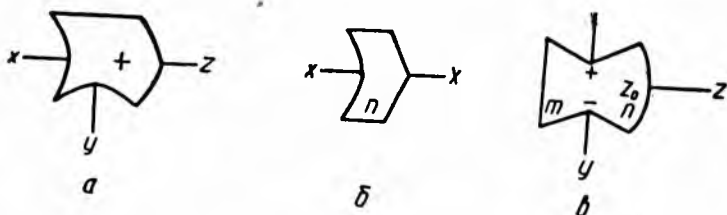


Рис. 4. Сумматор  $n$ -разрядных кодов

тегратор в форме последовательных кодов  $\delta_x$  и  $\delta_y$ . Если в  $i$ -й момент дискретного времени  $\delta_x(i) = 1$  и  $\delta_y(i) = 0$ , то к коду  $\epsilon_z$  в момент  $i$  добавляется число  $2^{-m}$ , т. е. единица  $m$ -го разряда:

$$\epsilon_z(i+1) = \epsilon_z(i) + 2^{-m}. \quad (3)$$

Если  $\delta_x(i) = 0$  и  $\delta_y(i) = 1$ , то вычитается число  $2^{-m}$ :

$$\epsilon_z(i+1) = \epsilon_z(i) - 2^{-m}. \quad (4)$$

Если же  $\delta_x(i) = \delta_y(i)$ , то значение кода  $\epsilon_z$  в момент  $i$  не меняется:

$$\epsilon_z(i+1) = \epsilon_z(i). \quad (5)$$

Найдем формулу для определения масштабного множителя  $c$  интегратора. Это можно сделать, положив в равенстве (2)  $x(t) \equiv 1$ ,  $y(t) \equiv 0$ ,  $z_0 \equiv 0$ . Тогда

$$z(t) = ct. \quad (6)$$

С другой стороны, согласно только что описанному принципу действия интегратора имеем:

$$\varepsilon_z(p) = \varepsilon_{z_0} + \sum_{i=1}^p \frac{\delta_x(i) - \delta_y(i)}{2^m} \quad (7)$$

Поскольку в данном случае  $\varepsilon_{z_0} = 0$ ,  $\delta_x(i) \equiv 1$ ,  $\delta_y \equiv 0$ , формула (7) запишется в виде

$$\varepsilon_z(p) = \frac{p}{2^m}. \quad (8)$$

Полагая, что момент дискретного времени  $p$  соответствует моменту  $t$  физического времени, имеем

$$z(t) = \varepsilon_z(p). \quad (9)$$

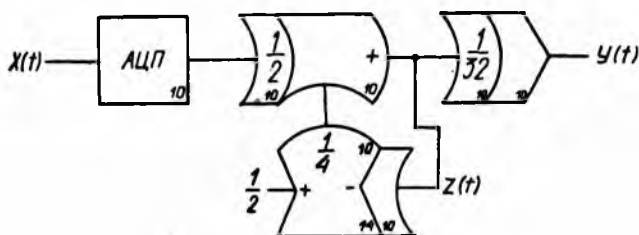


Рис. 5. Схема устройства для нормализации звуковой диаграммы

Приравняв правые части равенств (6) и (8), получаем искомую формулу

$$c = \frac{1}{2^m T_T}, \quad (10)$$

где  $T_T$  — тактовый интеграл, равный

$$T_T = \frac{t}{p}. \quad (11)$$

На рис. 5 изображена схема, составленная из только что описанных элементов. Она реализует уравнение (1). Символами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  обозначены машинные переменные. Переменные  $X$ ,  $Y$  связаны с переменными  $x$ ,  $y$  уравнения (1) соотношениями

$$x = 2X - 1; \quad (12)$$

$$y = 128Y - 2. \quad (13)$$

Полагаем, что сигналы  $x$  и  $y$  изменяются в пределах от  $-1$  до  $+1$ , тогда, согласно (12) и (13), переменная  $X$  будет изменяться в пределах от  $0$  до  $1$ , а переменная  $Y$  — в пределах от  $1/128$  до  $3/128$ . Диаграмма звука в виде электрического напряжения  $X(t)$ , меняющегося во времени  $t$ , поступает на аналого-цифровой преобразователь. Последний формирует с частотой

20 кгц 10-разрядный параметрический код, изменяющийся в пределах от 0 до 1 и копирующий исходное колебание с точностью около 0,1 %.

Далее сигнал поступает на схему, состоящую из шести элементов, работающих на тактовой частоте 5 МГц. Сигнал умножается на 1/2, после чего диапазон его изменения сужается до пределов 0—0,5. Элемент суммирования прибавляет к сигналу в начальный момент времени величину 1/4, в результате чего на его выходе формируется сигнал  $Z(t)$ , изменяющийся в диапазоне 0,25—0,75. Если среднее значение сигнала  $Z(t)$  постоянно поддерживается на уровне 0,5 (это соответствует отсутствию постоянной составляющей у сигнала  $x(t)$ ), то второе слагаемое, поступающее на нижний вход суммирующего элемента, постоянно сохраняет значение 1/4. Если же среднее значение сигнала  $x(t)$  смещается от нулевого уровня в сторону положительных или отрицательных величин, то в действие вступают преобразователь с интегрирующим элементом, которые, будучи включены в цепь обратной связи, регулируют величину второго слагаемого сумматора таким образом, чтобы среднее значение сигнала  $Z(t)$  постоянно сохранялось на уровне 0,5.

Сигнал  $Y(t)$  формируется путем умножения функции  $Z(t)$  на число 1/32 и преобразования результата в последовательный двоичный код. Схеме нормализатора уровня соответствует следующая система машинных уравнений:

$$\frac{1}{2} X + \frac{1}{4} + c \int_0^t \left( \frac{1}{2} - Z \right) dt = Z, \quad (14)$$

$$Y = \frac{1}{32} Z. \quad (15)$$

Дифференцируя по  $t$  левые и правые части равенства (14) и (15), имеем

$$\frac{1}{2} \frac{dX}{dt} + c \left( \frac{1}{2} - Z \right) = \frac{dZ}{dt}; \quad (16)$$

$$\frac{dY}{dt} = \frac{1}{32} \frac{dZ}{dt}. \quad (17)$$

Заменяя в (16)  $Z$  и  $\frac{dZ}{dt}$  по (15) и (17), получаем уравнение, связывающее машинные переменные  $X$  и  $Y$ :

$$\frac{1}{2} \frac{dX}{dt} + c \left( \frac{1}{2} - 32Y \right) = 32 \frac{dY}{dt}. \quad (18)$$

Переходя в последнем уравнении от машинных к моделируемым переменным  $x$  и  $y$  с помощью зависимостей (12) и (13), приходим к уравнению

$$\frac{dy}{dt} + cy = \frac{dx}{dt}. \quad (19)$$

Сравнивая уравнения (1) и (19) и используя (10), находим выражение для постоянной времени нормализатора уровня:

$$T = \frac{1}{c} = 2^m T_T. \quad (20)$$

Тактовой частоте 5 МГц соответствует тактовый интервал  $T_T = 0,2$  мкс. Постоянную времени принимаем равной  $T = 1$  с. Отсюда число разрядов интегратора

$$m = \frac{\lg \frac{T}{T_T}}{\lg 2} = \frac{\lg \frac{1}{0,2 \cdot 10^{-6}}}{0,3} = \frac{6 \lg 5}{0,3} = \frac{6 \cdot 0,7}{0,3} = 14.$$

В остальных решающих элементах нормализатора уровня используем 10-разрядные двоичные коды. Максимально возможный интервал между соседними импульсами в последовательном коде сигнала  $Y(t)$  составляет  $T_{\max} = 128 \cdot T_T = 128 \cdot 0,2 = 25,6$  мкс, что менее 50 мкс. Этим гарантируется отсутствие помех в виде тональных звуков в формируемом нормализатором уровня звуковым сигналом  $y(t)$  [2, с. 263]. Минимально возможный интервал равен

$$T_{\min} = \frac{128}{3} T_T = \frac{128 \cdot 0,2}{3} = 8,5 \text{ мкс.}$$

Наибольшая относительная погрешность интервалов между импульсами составляет

$$\frac{T_T}{T_{\min}} 100 = \frac{0,2}{8,5} \cdot 100 = 2,4 \%,$$

что не выходит за допустимый порог 3%. Этим гарантируется отсутствие шумов квантования в звуке  $y(t)$ , формируемом нормализатором уровня [2, с. 252].

Список литературы: 1. *Маленченко З. Ю.* Математические модели некоторых функций слухового восприятия и их приложения в технике обработки слитной речи: Дис. ... канд. техн. наук.— Х., 1984.— 131 с. 2. *Бондаренко М. Ф.* Математические модели морфологических и фонетических отношений и их применение для автоматизации обработки речевых сообщений: Дис. ... д-ра техн. наук.— Х., 1984.— 296 с.

Поступила в редколлегию 04.12.84.

А. А. РОСЬ, канд. техн. наук, Ю. Г. БОГДАНОВ

## ОТЛАДКА АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Сущность проектирования специального программного обеспечения АСУ на основе использования формально-логического подхода к описанию проблемной среды заключается в автоматизированном синтезе программ из программных модулей в соответствии с содержанием решаемой задачи, представленным аксиоматической моделью процесса управления [1]. Для описания проблемной среды может быть использован ПЛАТАН-Д1, основу которого составляет язык многосортного исчисления предикатов первого порядка, расширенный по определению операторами модальной и временной логики [2]. При таком подходе синтезируемый алгоритм однозначно соответствует описанию задач управления, а следовательно, любые изменения модели проблемной среды отразятся на его структуре. Очевидно, что алгоритм управления представляет собой некоторую интерпретацию формализованной теории проблемной среды. Возможность его построения определяется наличием таких свойств аксиоматической теории, как непротиворечивость и полнота системы аксиом, а независимость аксиом этой системы гарантирует отсутствие дублирующих ветвей в синтезируемом алгоритме.

Таким образом, отладка алгоритма в этом случае сводится к отладке соответствующей аксиоматической модели процесса управления. При этом под отладкой аксиоматической модели будем понимать построение такой теории, система аксиом которой удовлетворяет перечисленным выше свойствам.

Непротиворечивость системы аксиом означает, что в пределах данной системы нельзя вывести некоторую формулу и одновременно ее отрицание. Противоречивая система аксиом не имеет никакой ценности, так как в этом случае невозможно отобразить различие между истиной и ложью. Противоречивость системы аксиом теории, формализующей процесс управления, означает несоответствие этой теории реальной обстановке. Следовательно, при формализации процесса управления были допущены ошибки. Их необходимо выявить и скорректировать аксиоматическую модель в целях устранения противоречия.

Полнота системы аксиом — качество, свидетельствующее о том, что в ней все содержательно истинные формулы, записанные средствами языка системы, могут быть выведены из нее самой. Для рассматриваемой теории требование полноты

в классическом смысле невыполнимо. Указанная особенность связана с тем, что при формализации задач управления невозможно описать все отношения между объектами реального мира. Однако это не уменьшает практической полезности аксиоматической теории. Будем рассматривать проверку полноты системы аксиом как выявление круга выводимых в данной теории целевых установок, а расширение этого круга осуществлять путем добавления к теории новых аксиом. Систему аксиом в этом случае считаем открытой.

Независимость — свойство системы аксиом, заключающееся в том, что в пределах этой системы ни одна аксиома не выводима из остальных. Иначе, аксиома считается независимой, если существует теорема, которая не может быть доказана без нее. Процесс поиска и удаления «зависимых» аксиом можно представить как один из этапов оптимизации структуры синтезируемого алгоритма.

При формализации задач управления возникает необходимость описания процессов, развивающихся во времени. Поэтому формализуемая теория должна быть определена на множестве динамических ситуаций, возникающих в среде. С целью обеспечить возможность описания таких процессов введено понятие условной выводимости [3].

*Определение. Формула  $W$  условно выводима в аксиоматической теории, определенной на множестве динамических ситуаций, если существует хотя бы одна ситуация, в которой  $W$  выводима.*

При этом условно выводимая формула состоит из двух частей: формулы-ядра и формулы-условия. Формула-условие однозначно отражает ситуацию, в которой выводима формула-ядро.

Основные качества системы аксиом (непротиворечивость, полнота и независимость) тесно связаны с понятием выводимости. Поэтому вопрос исследования этих качеств, когда имеет место условная выводимость, требует особого рассмотрения.

Отладка аксиоматической модели в целях устранения противоречивости заключается в следующем: определение факта наличия противоречия, выявление аксиом за счет которых оно возникает, корректировка аксиоматической модели.

Аксиоматическая теория считается противоречивой, если в пределах данной теории выводима некоторая формула  $A$  и одновременно ее отрицание  $\sim A$ . Таким образом, для определения факта наличия противоречия достаточно выбрать формулу  $A$  и установить выводимость  $A$  и отрицания  $\sim A$  в рассматриваемой теории.

Рассмотрим аксиоматическую модель, формализующую процесс управления. Аксиомы приведены к виду предложений [4].

Имеет место следующее утверждение:

Пусть система аксиом  $S = \{A_1, A_2, \dots, A_p\}$ , приведенных к виду предложений, противоречива. Это, как уже отмечалось, означает, что в пределах данной системы выводима некоторая формула  $A$  и одновременно ее отрицание  $\sim A$ . В этом случае найдется хотя бы один литерал  $l_k$  из множества литералов, составляющих предложения этой модели, который выводим одновременно с его отрицанием.

Запишем это утверждение, используя общепринятые обозначения. Если

$$A_1, A_2, \dots, A_p \vdash A \& \sim A, \quad (1)$$

то

$$A_1, A_2, \dots, A_p \vdash l_k \& \sim l_k. \quad (2)$$

Поясним это утверждение. Выражение (1) можно представить в виде

$$A_1, A_2, \dots, A_p \vdash A; A_1, A_2, \dots, A_p \vdash \sim A. \quad (3)$$

Если формулу  $A$  с помощью известных правил преобразования [4] представить в виде предложений, то выражение (3) примет вид

$$\begin{aligned} A_1, A_2, \dots, A_p \vdash P_1 \& P_2 \& \dots \& P_m; \\ A_1, A_2, \dots, A_p \vdash \sim P_1 \vee \sim P_2 \vee \dots \vee \sim P_m, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $P_i (i = \overline{1, m})$  — предложения, полученные в результате преобразования формулы  $A$ .

Анализ выражения (4) показывает, что система аксиом будет противоречивой, когда выводимы все предложения  $P_i (i = \overline{1, m})$  и хотя бы одно  $\sim P_n (1 \leq n \leq m)$ , т. е. выводимы  $P_n$  и  $\sim P_n$  одновременно:

$$A_1, A_2, \dots, A_p \vdash P_n; A_1, A_2, \dots, A_p \vdash \sim P_n.$$

Каждое предложение  $P_i (i = \overline{1, m})$  представляет собой дизъюнкцию литералов:

$$l_1^i \vee l_2^i \vee \dots \vee l_s^i, \quad (6)$$

где  $l_j^i (j = \overline{1, s}, i = \overline{1, m})$  —  $j$ -й литерал  $i$ -го предложения.

Следовательно, выражение (5) можно представить в виде

$$\begin{aligned} A_1, A_2, \dots, A_p \vdash l_1^n \vee l_2^n \vee \dots \vee l_s^n; \\ A_1, A_2, \dots, A_p \vdash \sim l_1^n \& \sim l_2^n \& \dots \& \sim l_s^n. \end{aligned} \quad (7)$$

Это значит, что существует хотя бы один литерал  $l_k^n (1 \leq k \leq s)$ , выводимый одновременно с его отрицанием:

$$A_1, A_2, \dots, A_p \vdash l_k^n \& \sim l_k^n. \quad (8)$$

Это утверждение использовалось при разработке алгоритма установления противоречивости системы аксиом. Основу этого алгоритма составляет известная процедура логического вывода [3], используемая в режиме отладки аксиоматических моделей.

Отладка аксиоматической модели в целях устранения противоречивости осуществляется следующим образом. На основе анализа аксиом выбираются литералы, которые могут выступать в качестве целевых установок. Из этих литералов, а также из их дополнений последовательно формируются целевые установки для процедуры логического вывода.

С помощью этой процедуры делается попытка их доказательства. Если целевая установка доказана, то она сопровождается меткой «выводима» или «условно выводима». При этом вопрос об установлении противоречивости рассматриваемой аксиоматической теории решается следующим образом.

Если литерал выводим, а его дополнение выводимо или условно выводимо, то система аксиом считается противоречивой. Если же литерал и его дополнение условно выводимы, то противоречивость системы аксиом определяется с учетом анализа сопровождающих их формул-условий. Система аксиом в этом случае считается противоречивой, если литерал и его дополнение выводимы в одинаковой ситуации, т. е. формулы-условия совпадают.

Одновременно с проверкой аксиоматической модели на противоречивость осуществляется поиск выводимых (условно выводимых) целевых установок. Каждая выводимая в данной теории формула может быть представлена совокупностью предложений [4]. Предложение в свою очередь есть дизъюнкция литералов. Поэтому определение множества выводимых в данной теории формул осуществляется путем доказательства выводимости литералов, составляющих аксиомы рассматриваемой теории. Если при этом обнаружится, что для доказательства некоторых литералов недостаточно информации, то соответствующая аксиоматическая модель в диалоговом режиме может быть дополнена новыми аксиомами.

Процесс поиска «зависимых» аксиом осуществляется также с помощью процедуры логического вывода обычным образом. При этом каждая аксиома рассматриваемой теории выбирается в качестве целевой установки и делается попытка ее доказательства из остальных аксиом этой теории. «Зависимые» аксиомы помечаются, а их удаление целесообразно осуществлять на этапе оптимизации структуры синтезируемого алгоритма.

Таким образом, отладка синтезируемого алгоритма заключается не только в установлении непротиворечивости, полноты и независимости соответствующей системы аксиом. Эти свойства аксиоматической теории являются необходимыми, но недостаточными условиями корректности алгоритма. Тем не менее

необходимость такой отладки не вызывает сомнений, так как она производится на уровне аксиоматической модели без детальной разработки алгоритма и позволяет выявить широкий класс ошибок.

**Список литературы:** 1. *Рось А. А.* Принципы построения системы автоматизированного синтеза управляющих алгоритмов.— Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 103—108. 2. *Ярушек В. Е.* О формализованной модели для планирования действий управляемых объектов в динамической среде.— Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 88—95. 3. *Рось А. А.* Процедура дедуктивного вывода для планирования действий системы управления в динамической среде.— Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 117—125. 4. *Loveland D.* Automated Theorem Proving: A Logical Basis. — New-York, North-Holland Publishing Company, 1978. — 405 p.

*Поступила в редколлегию 05.08.84.*

---

УДК 621.397.6 : 534.4

*З. В. ИВАНОВСКАЯ*, канд. техн. наук, *Д. К. МИХНОВ*

### **ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАДАЧИ ОТОБРАЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ**

---

Задача отображения относительных отклонений звуковых сигналов возникает в информационно-советующих системах, перерабатывающих музыкальную информацию, в частности, для вывода информации об отклонении высоты звукового музыкального сигнала от заданного значения.

Решение этой задачи требует предварительного анализа эргономических аспектов вывода информации, так как эффективность восприятия информации человеком-оператором будет зависеть от рационального выбора методов и средств представления информации, являющихся неотъемлемой частью всего канала переработки. Вопросам отображения информации в эргатических системах посвящен ряд работ [1—4], при этом общим выводом является то, что отображение информации — сложная системотехническая проблема и ее необходимо решать на базе системного подхода. Таким образом, при проектировании специализированных средств отображения информации одновременно должны быть обеспечены:

метрологические характеристики, требуемые от средств отображения информации как окончательного звена канала переработки информации;

системотехнические характеристики, требуемые от средств отображения информации как окончательного звена подсистемы переработки информации;

эргономические требования, предъявляемые к средствам отображения информации как специфическому звену, непосредственно сопряженному с человеком-оператором [1].

Сформулируем системные требования к методам и средствам отображения информации об отклонении высоты звукового сигнала от заданного значения.

1. Метод отображения информации должен обеспечивать качественную и количественную оценку отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения.

2. Количественная оценка отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения должна производиться в относительных единицах-центах (комах).

3. Заданное значение высоты звукового сигнала из множества эталонных значений отклонений задается (для визуального сравнения) в виде нижнего и верхнего порога.

4. Геометрические размеры средства отображения, показатели яркости и контрастности должны соответствовать оптимальному съему информации оператором.

5. Средства отображения информации должны позволить их использование как для канала переработки информации об отклонении высоты звукового сигнала от заданного значения, так и для каналов анализа динамических характеристик.

Рассмотрим с точки зрения сформулированных системных требований известные методы и средства отображения информации об отклонении высоты звукового сигнала от заданного значения.

Известен метод отображения высоты основного тона звукового сигнала и отклонения высоты основного тона от заданного значения при помощи двух индикаторных панелей [5]. Индикаторная панель для отображения отклонения высоты основного тона звукового сигнала от заданного значения состоит из пяти одиночных индикаторов, расположенных в линию, каждый из которых соответствует определенному отклонению: средний — отклонение в норме; расположенные рядом с ним снизу и сверху — незначительное отклонение соответственно в ту или иную сторону; и крайние — большее отклонение. Такой метод отображения информации позволяет получить качественную и только приближенно количественную оценку отклонения частоты для человека-оператора, при этом внутри каждой из зон теряется информация о тенденции изменения отклонения. Кроме того, такой метод отображения информации не удовлетворяет системным требованиям по системотехническим характеристикам, так как средство отображения не может быть применено для отображения других характеристик звуковых сигналов, например динамических.

Проанализируем еще один известный метод отображения высоты основного тона звукового сигнала и отклонения высоты

основного тона от заданного значения [6]. Суть метода заключается в следующем. Индикаторное табло представляет собой несколько пар точечных индикаторов, расположенных по окружности на равных расстояниях. Электронная схема путем сравнения частот измеряемого и эталонного сигналов формирует управляющие воздействия для каждой пары точечных индикаторов. При совпадении фаз (частот) измеряемого и эталонного сигналов одна пара индикаторов, расположенных по диагонали, загорается с максимальной яркостью. При наличии отклонения частоты начинают загораться другие пары, что создает эффект вращения световых точек. Направление вращения указывает на направление отклонения, в то время как скорость их вращения — на величину отклонения. По сравнению с ранее рассмотренным, данный метод позволяет детально производить количественную оценку отклонения, однако обучающийся субъективно сопоставляет скорость вращения световых точек с величиной отклонения, что не позволяет определить объективную величину отклонения. Кроме того, такой метод отображения не позволяет задать допустимую зону отклонения и использовать средство отображения для анализа динамических характеристик, т. е. этот метод не отвечает системным требованиям.

Для отображения отклонения частоты сигнала от заданного значения широко используется метод визуального сравнения при помощи фигур Лиссажу. В качестве средства отображения в этом случае используется осциллограф, при этом количественная оценка отклонения практически невозможна, особенно для малых значений отклонений. С точки зрения системотехнических характеристик этот метод предпочтительнее предыдущего, так как на экране осциллографа могут быть отображены и графики других параметров звукового сигнала. Однако применение осциллографического индикатора в бытовых условиях эксплуатации экономически неоправдано.

В последнее время получили распространение методы отображения информации на экранах телевизионных приемников. Применение телевизионных приемников сводит задачу формирования изображения исследуемой информации к задаче синтеза сложного видеосигнала, однако на уровне современной микроэлектроники эта задача решается сравнительно малыми затратами по отношению к затратам на специальные средства отображения.

Известен метод визуального сравнения частот двух музыкальных нот (заданной и неизвестной) на экране телевизионного приемника [7]. Экран разбит на две зоны, при этом в одной из них с помощью генератора эталонных частот создается система полос, показывающая частоту одной из нот, а в другой части экрана — система движущихся полос, показывающая частоту искомой ноты. Канал кадровой развертки телевизионного приемника синхронизируется с частотой одной из нот, обеспечивая

в левой зоне неподвижную систему полос. Частота искомой ноты, наблюдаемая на другой части экрана (правой), сравнивается с неподвижной системой полос путем визуального сопоставления относительного числа, положения и движения полос по отношению к неподвижной системе. Рассмотренный метод в основном удовлетворяет системотехническим и эргономическим требованиям, однако принцип формирования изображения не позволяет выполнить количественную оценку величины отклонения.

При разработке метода вывода информации для данной задачи необходимо учесть положительные стороны проанализированных методов [5, 7], в связи с чем предлагается следующее:

разделить поле экрана на три зоны анализа, каждая из которых включает множество значений отклонений: средняя — зона допустимых отклонений, верхняя — отклонения выше нормы, нижняя — отклонения ниже нормы;

текущее значение отклонения указывать сплошной горизонтальной линией, которая может принимать любое из множества значений, соответствующее численному значению относительного отклонения, при этом положение линии в центре средней зоны соответствует совпадению неизвестной частоты с заданной, т. е. отклонение равно нулю ( $\delta=0$ ).

Ниже приведена иллюстрация предлагаемого метода формирования изображения отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения с использованием в качестве средства отображения телевизионного экрана (рисунок).

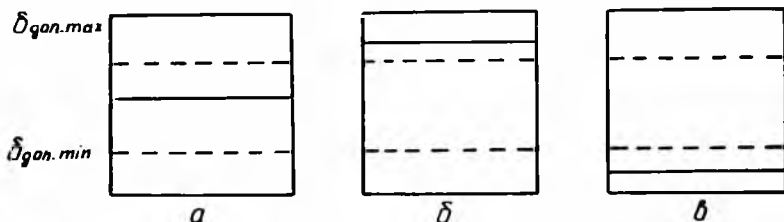
Для возможности количественной оценки величины отклонения значения отклонений в средней зоне выбираются в соответствии с критерием

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{\text{доп. max}} \leq \xi_1 \delta_0 \\ \delta_{\text{доп. min}} \geq \xi_2 \delta_0 \end{array} \right\} \forall \delta_0 = 0,36 \% f, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{доп}}$  — допустимые значения относительных отклонений;  $\xi_1, \xi_2$  — знаки отклонений;  $\delta_0$  — минимальное изменение высоты тона, ощущаемое человеком.

Таким образом, границы средней зоны определяют значения  $\pm \delta_0$ , что в единицах измерения отклонений составляет примерно  $\pm 6$  центов [8]. Границы верхней и нижней зоны соответствуют значениям  $\pm 12$  центов, что дает возможность обучающемуся легко оценить как качественно, так и количественно величину отклонения звукового сигнала от заданного значения. При значительном несоответствии частоты линия устанавливается в одно из крайних положений (в соответствии с направлением отклонения) и начинает мерцать. Кроме удовлетворения системным требованиям, преимуществами предложенного метода является возможность изменения величины зоны для обучающихся, имеющих различную квалификацию, а также возможность анализа изменения частоты внутри зоны.

Рассмотрим вопрос о дискретности вывода информации. Для анализа тенденции изменения отклонения разрешающая способность измерителя и средства отображения должна быть не ниже 1 комы (0,1 цента), так как профессиональные музыканты различают звуки, отличающиеся по частоте на величину менее 1 цента. Оценим возможность получения такой разрешающей способности на экране телевизионного приемника. С точки зре-



Предлагаемый метод формирования изображения отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения:

*а* — значение частоты звукового сигнала находится в допустимой зоне по отношению к заданной частоте; *б* — значение частоты выше верхней границы допустимой зоны; *в* — значение частоты ниже нижней границы допустимой зоны

ния синтеза сигнала телевизионного изображения на экране должна быть сформирована горизонтальная линия одинаковой яркости, имеющая возможность перемещаться по вертикали. Такая линия может быть получена путем высвечивания одной или одновременно нескольких строк телевизионного раstra.

Рассмотрим вопрос о количестве строк. Толщина линий, формирующих символ на экране, принимается равной (при белой линии на черном фоне)  $1/10$  высоты знака, размер которого определяется по известной формуле (2)

$$h \geq \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} l, \quad (2)$$

где  $l$  — расстояние до экрана;  $\beta$  — угловой размер;  $h$  — высота знака.

Для оптимального опознания знаков простой сложности рекомендуется принимать  $\beta = 18' \pm 1'$ , в этом случае для  $l = 3$  м (размер экрана 61 см по диагонали) высота знака составит  $h \approx 8$  мм, а толщина линии соответственно 0,8 мм. Для данного случая толщина строки вместе с межстрочным расстоянием составляет 0,7 мм (550 строк на 380 мм). Таким образом, задача может быть решена удвоением индуцируемой строки. Это удобно и с точки зрения аппаратных затрат, так как позволяет не учитывать специфику сигнала при черезстрочной развертке. Таким образом, на экране может быть получено 275 знакомест.

Для более полного использования аппаратных возможностей целесообразно принять число знакомест равным 256, т. е. на экране может быть отображено  $\pm 128$  дискретных единиц,

считая, что нулевому отклонению соответствует положение линии в центре экрана. Так, если при анализе звуковых музыкальных сигналов изменению высоты основного тона на 1 кому (0,1 цента) будет соответствовать перемещение линии на одно знакоместо, на экране можно будет отобразить отклонение  $\pm 12,8$  центов, что удовлетворяет приведенным выше соотношениям. Увеличив масштаб, можно соответственно отобразить большие отклонения.

Таким образом, предложенный метод представления величины относительного отклонения удовлетворяет сформулированным системным требованиям, что полностью подтвердилось результатами экспериментальных исследований.

**Список литературы:** 1. Поляков Л. В., Лейн В. М. Отображение измерительной информации.— Л.: Энергия, 1978.— 144 с. 2. Костюк В. И., Ходаков В. Е. Системы отображения информации и инженерная психология.— К.: Вища шк. Головное изд-во, 1977.— 192 с. 3. *Современные методы и устройства отображения информации* / Под ред. М. И. Кривошеева и А. Я. Брейтбарта.— М.: Радио и связь, 1981.— 216 с. 4. Гуглин И. Н. Телевизионные игровые автоматы и тренажеры.— М.: Радио и связь, 1982.— 272 с. 5. Пат. 4217808 (США). Устройство для определения основного тона / Д. Слепиан, Э. Велдон.— Оpubл. 10.10.81. 6. Пат. 1427351. (Великобритания). Приспособление для настройки музыкальных инструментов и способ тоновой настройки / Вагон Вагген. Оpubл. 12.10.73. 7. Пат. 1432286. (Великобритания). Прибор для визуального сравнения частоты звукового сигнала / Т. Винсент, Д. Кэрролл.— Оpubл. 20.08.76. 8. Волошин В. И., Федорчук Л. И. Электромusикальные инструменты.— М.: Энергия, 1971.— 144 с.

*Поступила в редколлегию 01.10.84.*

---

УДК 62. 506.2

*В. Ф. АНАНИН, канд. техн. наук,  
Е. С. ВЕЛЬХОВЕР, д-р мед. наук*

## **О МЕХАНИЗМЕ РЕГУЛЯЦИИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ.**

### *СООБЩЕНИЕ 5*

---

В предыдущих сообщениях [1, 2] рассмотрены механизмы биорегуляции основных уровней С — С. Наиболее наглядно их взаимодействие проявляется на регуляции артериального давления (АД).

Принято считать, что основными параметрами саморегуляции АД являются изменение сердечного выброса, периферического сопротивления, концентрации гормонов гипоталамо-гипофизарной системы [3]. По мнению авторов, такими параметрами могут быть изменения режима работы сердца, прежде всего частоты ритма сокращения; пороговой чувствительности баро- и хеморецепторов на разных уровнях С — С; скорости кровотока; акти-

вирующей функции РФ; в перестройке режима регуляции всей многоуровневой системы; концентрации гормонов и нейромедиаторов, влияющих на АД.

Приступая к анализу схемы регуляции АД, предварительно разберем механизм взаимодействия между левым желудочком и аортой, а также процесс формирования ее тонуса, роль которых в биорегуляции АД весьма существенна. При сокращении левого желудочка в аорту выбрасывается масса крови  $m$  или ее объем  $\Delta V_c$  со скоростью  $V_{kc}$ . Поскольку скорость  $V_m$  сокращения миокарда желудочка высокая, можно говорить об импульсном или ударном воздействии на стенки аорты выбрасываемой в нее массы крови в виде импульса силы  $P = m \cdot V_{kc}$  или кинетической энергии  $E_{ж} = \frac{mV_{kc}^2}{2}$ .

Под действием  $E_{ж}$  в аорту за  $t$  поступает объем крови  $\Delta V_c$ , который вследствие эластических свойств ее стенок успевает за  $t$  расширить на определенном участке ее калибр настолько, что в нем умещается большая часть выброшенной крови. Калибр на этом участке из исходного  $d_0$  скачком возрастает до  $d_m$ . При этом кинетическая энергия желудочка  $E_{ж}$  переходит в потенциальную энергию аорты  $E_a$ , которая при своем последующем упругом сокращении создает силу  $F_{ai} = k(d_{mi} - d_0)$ , под воздействием которой кровь проталкивается по аорте и далее. Силе  $F_a$  препятствует сила  $F_d$ , которая создается диастолическим давлением крови в аорте. Поэтому более правильно говорить о  $\Delta F_a = F_a - F_d$ . В свою очередь  $F_a$  зависит от модуля  $k_a$  стенки сосуда, исходного значения калибра аорты  $d_0$ , на величину которого влияют сигналы  $I_{за}$  симпатической (адренергической) и  $I_{эх}$  парасимпатической (холинергической) нервных систем, воздействующих согласно двойственной иннервации эффекторов АНС со стороны СНС и ПНС, на мышечный слой сосудов, и гормональных сигналов  $I_{заг}$  адренергической и  $I_{эхг}$  холинергической природы. Таким образом, каждый эффектор АНС, в том числе и мышцы сосудов, находятся под воздействием пяти компонентов, один из которых имеет эластическую природу, два — нервную и два — гормональную.

Эластический компонент сосудов с мышечным слоем складывается из двух подкомпонентов: эластичности самой стенки сосуда, т. е. его ткани ( $\mathcal{E}_{cc}$ ), которую назовем собственной эластичностью сосуда, и эластичности, создаваемой тонусом мышечного слоя ( $\mathcal{E}_{cm}$ ), которая определяется величиной интегрального сигнала  $I_{эи}$  в медиаторной форме, воздействующего на мышечный слой:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{cmi} &= kI_{эиi} = k[(I_{эани} + I_{эаги}) - (I_{эхни} + I_{эхги})]; \\ I_{адi} &= I_{эани} + I_{эаги}; \quad I_{эхi} = I_{эхни} + I_{эхги}. \end{aligned} \quad (1)$$

Однако для оценки воздействия на калибр сосуда каждого из пяти компонентов удобнее представить действие каждого из

них в виде отдельных сил  $F$ . Тогда интегральная величина  $F_{\text{и}}$  силы, действующей на стенки сосуда, может быть представлена в виде уравнения

$$F_{\text{и}} = F_{\text{ан}} + F_{\text{аг}} - F_{\text{э}} - F_{\text{хн}} - F_{\text{хг}} = kI_{\text{эан}} + kI_{\text{эаг}} - kK_{\text{а}} - kI_{\text{эхн}} - kI_{\text{эхг}} \quad (2)$$

При этом  $F_{\text{ад}} \gg F_{\text{э}}$ , а  $F_{\text{хл}} \gg F_{\text{ад}}$ ;  $F_{\text{аг}} \gg F_{\text{ан}}$ ;  $I_{\text{эаг}} \gg I_{\text{эан}}$ ;  $I_{\text{эхн}} \gg I_{\text{эхг}}$ ;  $I_{\text{эаг}} \gg I_{\text{эан}}$ ;  $I_{\text{эхн}} \gg I_{\text{эхг}}$ ;

$$I_{\text{эан}} = I_{\text{эано}} + k \sum_{i=1}^p I_{\text{ааэи}} + k \sum_{i=1}^z I_{\text{аани}} \pm kI_{\text{ицм}};$$

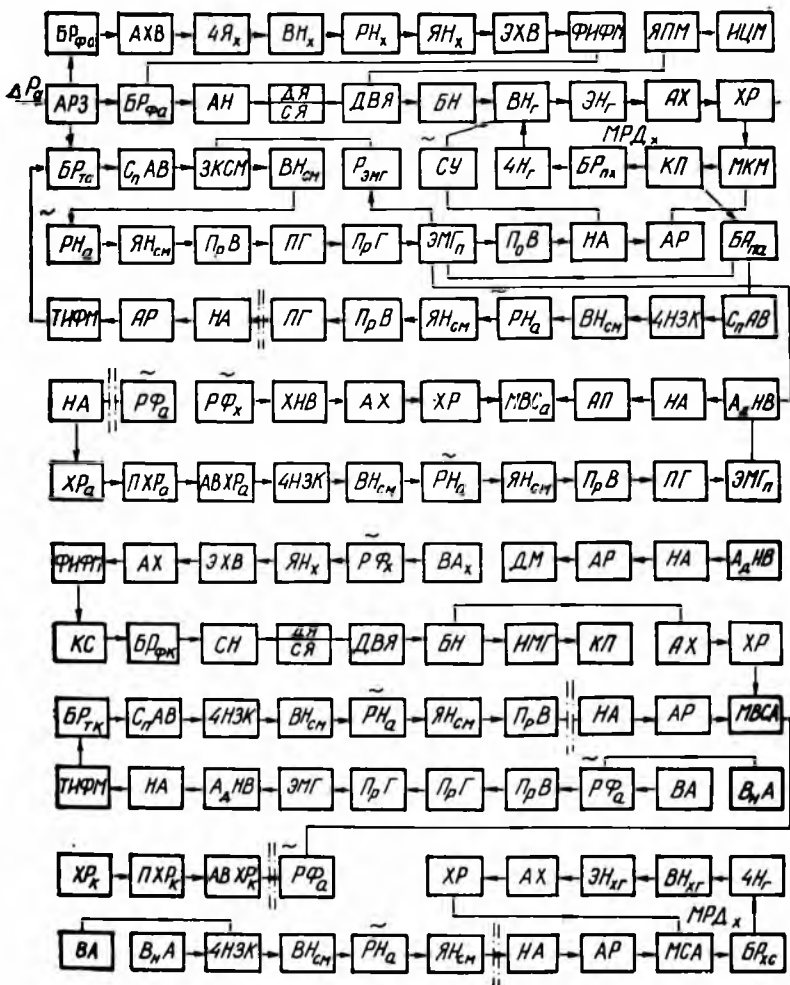
$$I_{\text{эхн}} = I_{\text{эхно}} + k \sum_{i=1}^n I_{\text{ахэи}} + k \sum_{i=1}^m I_{\text{ахни}} \pm kI_{\text{ицм}};$$

$$I_{\text{эаг}} = I_{\text{эаго}} + k \sum_{i=1}^c I_{\text{ааэи}} + k \sum_{i=1}^k I_{\text{аани}} \pm kI_{\text{ицм}};$$

$$I_{\text{эхг}} = I_{\text{эхго}} + k \sum_{i=1}^p I_{\text{ахэи}} + k \sum_{i=1}^z I_{\text{ахни}} \mp kI_{\text{ицм}};$$

где  $I_{\text{эано}}$ ,  $I_{\text{эхно}}$ ,  $I_{\text{эаго}}$ ,  $I_{\text{эхго}}$ ,  $I_{\text{ааэ}}$ ,  $I_{\text{ахэ}}$ ,  $I_{\text{ахи}}$  — соответственно аутохтонные сигналы (первые четыре), генерируемые адренергической ( $\text{РФ}_a$ ) и холинергической ( $\text{РФ}_x$ ) зонами ретикулярной формации по своим эфферентным нервным и гуморальным путям в стадии медленной фазы сна (базального уровня), афферентные сигналы с экстеро- и интерорецепторов адренергической ( $\text{АдНС}$ ) и холинергической ( $\text{ХНС}$ ) нервных систем, оказывающих стимулирующие воздействия соответственно на  $\text{РФ}_a$  и  $\text{РФ}_x$  по нервным и гуморальным путям.

Поясним физиологический смысл уравнения (2). Действие сил  $F_a$ ,  $F_{\text{ан}}$ ,  $F_{\text{аг}}$  направлено на расширение внутреннего калибра сосуда его сосудистого русла, а действие сил  $F_{\text{э}}$ ,  $F_{\text{хн}}$ ,  $F_{\text{хг}}$  — на сужение  $d_p$ . При наличии реципрокных взаимоотношений сигналов  $\text{АдНС}$  и  $\text{ХНС}$  между собой на общем для них эффекторном звене — мышечных клетках сосуда, формирующих его мышечный слой ( $\text{МВС}$ ), путем взаимодействия их медиаторов-норадреналина ( $\text{НК}$ ) и ацетилхолина ( $\text{АХ}$ ) или им подобных, под влиянием физического сигнала  $I_{\text{эх}}$  происходит кратковременное ослабление силы  $F_{\text{ад}} = F_{\text{ан}} + F_{\text{аг}}$ , и сосуд под воздействием силы  $F_{\text{э}}$  сужается. Ослабление же  $F_{\text{ад}}$  связано, видимо, с временным блокированием  $\text{НА}$  медиатором  $\text{АХ}$ . Поэтому с точки зрения медиаторного взаимодействия реципрокные отношения осуществляются между силами  $F_{\text{ад}}$  и  $F_{\text{хд}} = F_{\text{хн}} + F_{\text{хг}}$ . Сила же  $F_a$ , как активный компонент, создает кратковременное расширение калибра сосуда и является основным источником его синхронной с сердечным ритмом пульсации, под влиянием которой разыгрываются медиаторные отношения между указанными силами, и, как следствие, изменение тонуса стенок сосуда. Ниже



а

этот процесс рассматривается более подробно. Сила  $F_3$ , как пассивный компонент, стремящийся к своему исходному состоянию, соответствующему суженному положению калибра сосуда действует в наглядной форме в тот момент, когда сила  $F_a$  блокируется  $F_{зд}$ . Отсюда становится понятным, что силы  $F_a$  и  $F$  выполняют чисто механические функции по расширению и сужению внутреннего калибра сосуда. При этом  $F_a$  выступает как внешний возбудитель по отношению к рассмотренным выше пяти компонентам сил, формирующих тонус сосуда.

Таким образом, функция сосудов в виде периферически-желудочков складывается из взаимодействия сил  $F_a$  и  $F_3$ . Про



Под тонической АдНС с учетом [2] следует понимать СНС со своей адренергической зоной ретикулярной формации ( $РФ_a$ ), локализованной в симпатическом стволе спинного мозга.  $РФ_a$  формирует тоническую и медленную фазическую [4] части АдНС. Под фазической системой АНС понимают холинергическую парасимпатическую нервную систему (ХНС) со своей холинергической зоной ретикулярной формации ( $РФ_x$ ), локализованной в среднем мозге ( $МРФ_x$ ), мозжечке ( $РФ_{xm}$ ), главным образом, продолговатом мозге ( $РФ_{xp}$ ), крестцовом отделе спинного мозга ( $РФ_{xk}$ ) и др.

Раздражителем для  $БР_{фа}$  служит скорость изменения  $АД - \frac{d P_a}{dt}$ . Аfferентный сигнал  $I_{афа}$  с  $БР_{фа}$  АРЗ по аортальному нерву (АН) поступает в чувствительное дорсальное (ДЯ) или солитарное (СЯ) ядро, а интегрирующий сигнал — в двигательное вентральное ядро (ДВЯ), которое находится под активирующим влиянием  $РФ_x$ , формирующей тонус нейронов ИМГ сердца. Отсюда по парасимпатическим преганглионарным волокнам блуждающих нервов (БН) эfferентный сигнал направляется на вставочные нейроны ( $ВН_r$ ) ИМГ, на которые в рамках  $МРД_x$  холинергической природы поступают аfferентные сигналы  $I_{анx}$  с  $БР_n$  предсердий. После  $ВН_r$  сигнал направляется на эfferентные нейроны ( $ЭН_r$ ) ганглия, и далее его медиатор АХ через холинорецепторы (ХР) воспринимается мышечными клетками миокарда (МКМ). К этим же клеткам по адренергическим нервным волокнам (АНВ) поступает НА, где и осуществляется взаимодействие двух медиаторов. Этот контур выполняет роль обратной отрицательной связи по отношению к контурам регуляции предсердий, а возможно, и желудочков.

**Контур II регуляции** также связан с  $БР_{фа}$  АРЗ, но здесь сигнал  $I_{афа}$  поступает в  $РФ_x$ , оказывая стимулирующее воздействие на нее, откуда в качестве эfferентного сигнала  $I_{эxn}$  по парасимпатическим нервным волокнам направляется к мышечному слою сосудов, имеющих центральную иннервацию, т. е. прямую связь с  $РФ_x$ . Физиологический смысл этого контура с его многочисленными подконтурами состоит в организации синхронного с сердечным выбросом крови из желудочка в аорту тонуса мышечного слоя со стороны холинергического канала в соответствии с уравнением (2). Действие  $I_{эxn}$  сдвинуто во временной фазе  $\tau$  по отношению к моменту воздействия  $E_{ж}$  на АРЗ.

Видимо значение  $\tau$  для сосудов разного уровня неоднозначно. Оно увеличивается по отношению к эффекторам, имеющим прямую двойственную иннервацию со стороны АдНС и ХНС соответственно от  $РФ_a$  и  $РФ_x$ , и мало сказывается по отношению к тем эффекторам, двойственная иннервация которых характеризуется прямой адренергической и косвенной холинергической в рамках местной рефлекторной дуги холинергической

природы. Независимо от калибра сосуда и места его расположения изменение тонуса мышечного слоя сосуда должно быть синхронно с частотой сокращения желудочка. На рис. 2 приведена кривая пульсации калибра сосуда со склеры глаза, полученная авторами с помощью разработанного ими бесконтактного фотоэлектронного метода регистрации пульсации калибра сосуда глаза [5]. Судя по кривой, период изменения калибра сосуда совпадает с ритмом сердца. Этот важный факт свидетельствует о том, что нервная регуляция сосудов микроциркуляторной системы с мышечным слоем функционирует синхронно с ритмом сердца.

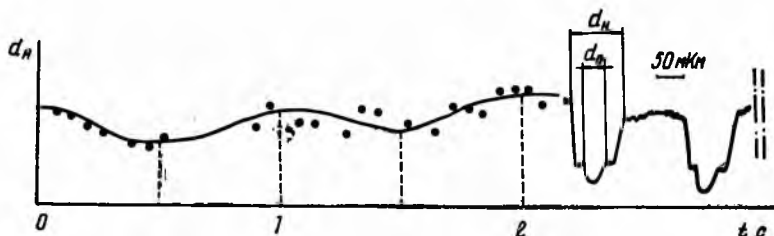


Рис. 2. Кривая пульсации наружного калибра сосуда со склеры глаза человека

Работа этого контура, в частности его эффекторных звеньев-МВС, осуществляется на фоне тонуса, создаваемого АДНС, регуляция которого осуществляется в рамках своих контуров. Это относится к сосудам с прямой и косвенной двойственной иннервацией.

**Контур III регуляции** связан с БР<sub>та</sub> тонического типа, фиксирующих изменение  $\Delta P_a$  АД в аорте. Здесь афферентный сигнал  $I_{ата}$  с концевых рецепторных аппаратов по афферентным волокнам поступает на чувствительный нейрон задних корешков (ЦНЗК) спинного мозга (ЗКСМ), откуда на вставочный нейрон (ВН<sub>см</sub>) спинномозгового узла (СМУ) и его ядерный нейрон (ЯН<sub>см</sub>). В СМУ находятся ретикулярные нейроны (РН<sub>а</sub>) АДНС. Не исключено, что  $I_{ата}$  поступает непосредственно на РН<sub>а</sub>, оказывая на них стимулирующее воздействие. После СМУ эфферентный сигнал  $I_{аз}$  по преганглионарным волокнам (ПрВ) направляется на нейроны паравертебральных ганглиев (ПГ), а после них на нейроны превертебральных ганглиев (ПрГ) и далее на периферические экстрамуральные ганглии (ЭМГ), а от них непосредственно к МВС, где его медиатор НА через адренорецепторы (АР) воздействует на МВС, а точнее, после взаимодействия с АХ.

Физиологический смысл этого контура можно представить следующим образом. Предположим, что сигнал  $I_{ата}$  оказывает стимулирующее воздействие на РФ<sub>а</sub> в виде приращения ее энергетического потенциала  $E_a$  на  $\Delta E_a$ . В этом случае возрастает

величина активирующего сигнала  $I_{a\alpha}$  РФ<sub>a</sub>, в результате чего повысится тонус сосудов в соответствии с уравнением 3.

**Контур IV регуляции** связан с хеморецепторами (ХР) АРЗ. Аfferентный сигнал этого контура поступает в РФ<sub>a</sub>, оказывая на нее стимулирующее воздействие по описанной выше схеме. Под влиянием этого сигнала повышается активность адренергических каналов сердца и диафрагмальной мышцы системы дыхания, в результате чего повышается ритм сердца и частота дыхания.

**Контур V** регулирует пороговую чувствительность  $S_p$  рецепторов АдНС, изменяя аfferентный активирующий сигнал  $I_{a\alpha}$  РФ<sub>a</sub> под влиянием аfferентных сигналов разной модальности адренергической природы, поступающих по аfferентным коллатералям в РФ<sub>a</sub>.

**Контур VI регуляции** формирует пороговую чувствительность  $S_{рх}$  ХНС, изменяя аfferентный активирующий сигнал  $I_{x\alpha}$  РФ<sub>x</sub> по такому же принципу, что и в предыдущем контуре. Отличие заключается только в том, что здесь более четко проявляется принцип дифференцированной формы активации. Надо полагать, что аналогичные контуры регуляции VII—XI имеют место в каротидных рефлексогенных зонах (КС) и других крупных РЗ. По-видимому, различие заключается в том, что КС направлены преимущественно на предохранение сосудистой системы мозга, в то время как АРЗ контролирует АД в сосудистой системе других бассейнов.

**Контур XII регуляции** связан с гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системой и, в частности, с продуцированием кортико-костероидов ( $K_o$ ).

**Контур XIII регуляции** связан с мозговым слоем коры надпочечников (МСКН). Поскольку анализ этих контуров подробно рассмотрен в наших предыдущих сообщениях, то здесь мы ограничимся только подтверждением указанных контуров в регуляции АД, дополнив следующее. По-видимому, НА оказывает стимулирующее воздействие на РФ<sub>a</sub>, в то время как адреналин-фазический гормон воздействует на РФ<sub>x</sub> и, в частности, на мРФ<sub>x</sub>.

**Контур XIV регуляции** связан с гипоталамо-аденогипофизарной системой, в частности, с регуляцией щитовидной железы (ЩЖ). Анализ НЭС говорит о том, что ЩЖ со своими тиреоидными гормонами (ТГ)-тироксинном (Т), тоническим агентом и триодтиронином (ТТ), фазическим агентом, в ХНС выполняют ту же функцию, что МСКН со своим фазическим гормоном-адреналином (А) и тоническим норадреналином (НА),— в АдНС. Поэтому основное физиологическое значение этого контура состоит в том, что он является ответственным за гормональную стимуляцию РФ<sub>x</sub>, в том числе, видимо, и РФ<sub>a</sub>. Здесь управляющий сигнал  $I_{a\alpha}$  из РФ<sub>a</sub> через СМУ, ПГ, ПрГ по адренергическим (симпатическим) нервным волокнам (АдНВ) поступает на ядерные нейроны гипоталамуса (ЯНГ<sub>a</sub>), где он усили-

вается, затем на нейросекреторные клетки передних ядер подбугорья (НСК<sub>а</sub>), трансформируется в релизинг-фактор (РФ) и по портальной сосудистой системе (ПСС) приходит в аденогипофиз (АГ), который его преобразует в тиреотропный гормон (ТТГ). Последний гуморальным путем достигает ЩЖ и воспринимается ее специфическими рецепторами (Р<sub>щ</sub>). Под влиянием ТТГ ЩЖ продуцирует Т и ТТ в систему кровообращения (СК).

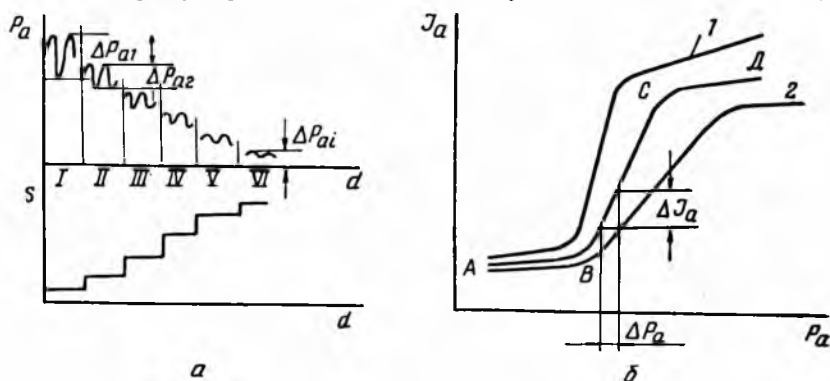


Рис. 3. Кривые, поясняющие изменения пульсации артериального давления  $\Delta P_a$  и пороговой чувствительности рецепторов мышечного слоя сосудов  $S$  на разных уровнях сердечно-сосудистой системы в зависимости от величины калибра сосуда  $d$ (а), а также зависимость изменения афферентного сигнала  $I_a$  от  $P_a$ (б)

Кроме этого основного гуморального контура ЩЖ регулируется двумя нервными контурами: адренергическим и холинергическим, управляющие сигналы которых  $I_{aэн}$  и  $I_{xэн}$  формируются соответственно в РФ<sub>а</sub> и РФ<sub>х</sub>. С помощью этих контуров создается функциональный тонус ЩЖ, адекватный адаптационным условиям. Одновременно с экстращитовидным холинергическим контуром имеется еще интращитовидный холинергический контур в рамках МРД<sub>х</sub>. Рецепторами этого контура являются, видимо, микроворсики, контролирующие микроструктуру коллоида в фолликулярных клетках. Афферентный сигнал  $I_{ашх}$  с Р<sub>щ</sub> поступает на интрамуральные ганглии ЩЖ (ИМГ<sub>щ</sub>) и далее на дольки ЩЖ (ДЩЖ). МРД<sub>а</sub>АдНС имеет свой контур (см. рис. 1). АГ также находится под двойным нервным контролем со стороны АдНС и ХНС, как и ЩЖ. Роль депо Т и ТТ помимо ЩЖ выполняют элементы крови и ее белки.

**Контур XV регуляции**, гуморальный холинергический по своей природе, связан с нейрогипофизом (НГ), который рассматривался в наших предыдущих сообщениях.

**Контур XVI регуляции** связан с ренин-альдостероновым механизмом.

**Роль баро- и хеморецепторов разного уровня в регуляции АД.** Известно, что регуляция АД осуществляется практически

по всей С — С за счет размещения на ней БР и ХР. Последние концентрируются либо в виде РЗ, как это имеет место в АРЗ, КС, либо размещаются диффузно. По мере продвижения от АРЗ к сосудам МС  $S$  рецепторов повышается, так как наибольшая чувствительность наблюдается в бассейне артериол и венул, а самая низкая — на уровне РАЗ. Схематично это изменение показано на рис. 3, а. Так как в большинстве контуров регуляции управляющий сигнал возникает с рецепторов, в том числе с БР, то их динамическая характеристика, как измерительного элемента, имеет большое значение в регуляции АД. Предположим, что для БР АРЗ она имеет вид, представленный на рис. 3, б. На участке АВ БР практически не реагируют или слабо реагируют на изменения  $P_a$ . Участок ВС соответствует  $S_{\max}$  БР, так как  $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta P_a}$ . На участке СД  $S$  снова понижается.

В то же время изменение  $S$  может быть обусловлено разными причинами, включая конструктивные особенности БР с их неоднозначными величинами  $S$ , а также адаптационными явлениями. Последние находят свое отражение в изменении активирующих сигналов  $I_{aэн}$  и  $I_{хэн}$ , формирующих  $S$  рецепторов в соответствии с уравнением (3). В результате динамическая характеристика может принимать вид в форме кривых 1, 2 (рис. 3, б). По-видимому, подобная зависимость свойственна и для эффекторных звеньев контуров, а ее регуляция осуществляется путем изменения их тонуса. Именно в этом и состоит адаптационная перестройка рецепторного и эффекторного аппаратов, а вместе с ними — их контуров регуляции.

**Роль периферического сопротивления (ПС) сосудистой системы и транскапиллярной функции (ТФ) в регуляции АД.** Признавая ведущую роль микроциркуляторной системы (МС) в регуляции АД, считаем, что ее основными компонентами, влияющими на АД, являются ПС и ТФ. Проанализируем роль каждого из этих компонентов в общем периферическом сопротивлении.

ПС формируется главным образом артериолами (Ар) и прекапиллярными сфинктерами (ПС), а более конкретно, их внутренним диаметром  $d_n$ , определяющим русло кровотока. Регуляция Ар на этом уровне С — С осуществляется по косвенному принципу, в соответствии с которым аутохтонный сигнал  $I_{aэ}$  РФ<sub>а</sub> поступает к мышечному слою Ар (МСА) из ЦНС — РФ<sub>а</sub> спинного мозга, а сигнал  $I_{хэ}$  формируется в рамках МРД<sub>х</sub>, принцип действия которого сводится к следующему. Согласно кривой (рис. 2) на уровне Ар сохраняется пульсирующий поток кровотока, синхронный с ритмом сердца. Поэтому приращение  $\Delta P_a$  в Ар приводит к растяжению ее стенок и, как следствие, ответной реакции БР<sub>х</sub>, фиксирующих  $\frac{dP_a}{dt}$ . Аfferентный сигнал  $I_{ахс}$  с БР<sub>х</sub> в рамках МРД<sub>х</sub> замыкается через внутреннее сплетение сосуда, выполняющего роль его ИМГ<sub>с</sub>, где он, проходя через

вставочный (ВН<sub>с</sub>) и эфферентный (ЭН<sub>с</sub>) нейроны, усиливается и в качестве эфферентного холинергического сигнала  $I_{\text{ЭХМ}}$  поступает на мышечные клетки, трансформируясь в зависимости от величины в ту или иную степень концентрации АХ. На этом же уровне продуцируется НА сигнала  $I_{\text{аэ}}$ . В результате происходит взаимодействие двух реципрокных медиаторов-адренергического ( $M_a$ ) и холинергического ( $M_x$ ), интегрирующий медиаторный сигнал ( $M_n$ ) которых оказывает окончательное действие на эффектор — МСА. Величина  $M_n$  зависит от исходного уровня тонуса сосуда, определяемого сигналом  $I_{\text{аэ}}$ . Чем он выше, тем больше перепад  $\Delta d_n = d_{n \max} - d_{n \min}$ , тем сильнее проявляется функция МСА как периферических желудочков, тем быстрее кровотоков.

Величину ПС артериол можно представить пропорциональной числу функционирующих  $Ar - N_a$  и обратно пропорциональной  $\Delta d_n$ :

$$R_a = k \frac{N_a}{\Delta d_n}$$

Схематично изменение  $\Delta d_n$  под влиянием  $I_{\text{ЭХМ}}$  и с учетом уравнения (3) можно представить в виде рис. 4. Здесь точка А определяет исходное значение  $d_n$  при  $I_{\text{ЭХ}} = 0$ , а  $I_{\text{аэ}} = I_{\text{аэ} \max}$ , т. е. согласно уравнению  $F_c = F_{\text{ад}} - F_3$ .

При  $F_{\text{ад}} \gg F_3 d_n = k F_c$  имеет максимальное значение. В момент появления  $F_a = k \cdot \Delta P_a$  возникает  $I_{\text{ЭХМ}}$ , и в рамках МРД<sub>х</sub> он формирует  $M_x$ , который на период своего действия блокирует  $M_a$ . В результате действие  $M_a$  на МСА резко ослабевает, и в этот момент проявляет свое действие сила  $F_3$ , стремящаяся к своему исходному минимальному значению, соответствующему  $d_{n \min}$ . Как только прекращается воздействие  $M_x$  как фазического по своей природе, сигнал  $I_{\text{аэ}}$  с пропорциональной ему медиацией  $M_a$  снова возрастает и расширяет калибр сосуда до своего исходного положения, соответствующего на кривой точки А. С появлением следующего  $\Delta P_a$  процесс повторяется. Именно в этом и состоит сущность механизма регуляции сосудов МС с мышечным слоем. Кроме того, на МСА воздействуют также  $I_{\text{заг}}$  и  $I_{\text{ЭХГ}}$  согласно уравнению (3) по гуморальным каналам.

Понятно, что в зависимости от положения рабочей точки А, сигнала  $I_{\text{ЭХ}}$ , силы  $F_3$  будет определяться величина  $\Delta d_n$ . Преимущественное влияние той или иной нервной системы на МСА определяется величинами концентраций  $M_a$  и  $M_x$ . При  $M_a > M_x d_n$  возрастает, а  $M_a < M_x$  понижается. Поскольку  $M_a \approx k \cdot I_{\text{аэ}}$ , то

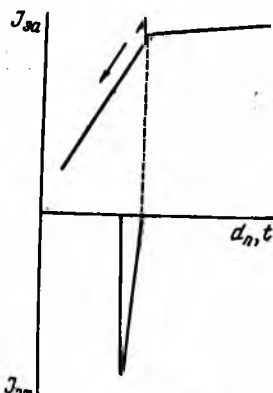


Рис. 4. Кривая, поясняющая взаимодействие адренергического  $I_{\text{аэ}}$  и холинергического  $I_{\text{ЭХ}}$  сигналов при изменении калибра сосуда

повышение его концентрации возможно за счет либо возрастания  $I_{аз}$ , которое может быть только при увеличении  $E_{ра}P\Phi_a$ , либо понижения  $I_{эx}$ . Повышение же  $M_x$  возможно за счет либо возрастания  $I_{эx}$  вследствие большего значения  $\frac{dP^a}{dt}$ , либо повышения частоты  $f_p$  ритма сокращения сердца. В общем виде можно записать:  $M_x = f_p \frac{dP^a}{dt}$ . При описанном выше механизме регуляции МСА становится понятным, что при повышенных значениях  $f_p$  возрастает  $M_x$  и понижается  $d_{п}$ .

Длительное сохранение  $f_p$  приводит к стойкому снижению  $d_{п}$ , которое отдельными исследователями оценивается как артериолярный спазм. В действительности же происходит соблюдение тонуса МСА. Понятно, что в этом случае  $R_a$  возрастает. Кроме того, снижается сигнал  $I_{ат}$  с БР<sub>т</sub>, а вместе с ним уменьшается эффект стимуляции  $P\Phi_a$  со всеми вытекающими отсюда последствиями. Изменение внутреннего калибра  $d_{пр}$  в Пр находится под гормональным контролем и, в частности, вазопрессина (В), гистамина и др. Сам же механизм изменения  $d_{пр}$  связан, видимо, с регуляцией размера, а точнее объема гладкомышечных клеток (ГК), скопление которых, как правило, наблюдается в месте ответвления прекапилляра от Ар. Чем выше концентрация гормонов и нейромедиаторов, оказывающих воздействие на ГК, тем больше объем  $v_{гк}$  этих клеток, а возможно, и их число  $n_k$ . Поэтому сопротивление  $r_{п}$  ПрС в общем виде можно представить в виде уравнения  $r_{п} = n_k v_{гк}$ . Сопротивление же  $R_{п}$  всей прекапиллярной системы с числом  $N_{п}$  ее функционирующих ПрС определяется так:  $R_{п} = N_{п} \cdot r_{п}$ . Поэтому общее сопротивление  $R_{мо}$  ПС до капилляров можно представить в виде суммы:  $R_{мс} = R_a + R_{п}$ . Сопротивление  $R_{т}$  ТФ, т. е. на уровне капиллярной системы, в зависимости от числа  $N_k$  функционирующих капилляров и осмотического давления  $\Delta P_{ос}$  в общем виде определяется формулой

$$R_{т} = f \left( \frac{1}{N_k \Delta P_{ос} V_k} \right).$$

Общее же сопротивление ПС следующее:  $R_{пс} = R_{мс} + R_{т}$ . Хотелось бы особо подчеркнуть роль эрологических свойств крови ( $\Theta_k$ ) в  $R_{т}$ . К последним следует отнести в первую очередь вязкость крови ( $V_k$ ) и агрегацию эритроцитов ( $A_э$ ). Пожалуй, именно  $A_э$  вносит наиболее существенную долю в  $R_{т}$ . Поэтому на оценке этого параметра остановимся более подробно. Поскольку эритроциты ( $\Theta$ ) помимо своей основной функции выполняют также функцию депонирования биологически активных веществ трофотропного ряда, то она неизбежно должна быть связана с изменением их размеров и объема. Чем они больше, тем медленнее продвигаются  $\Theta$  в капиллярах, замедляя скорость  $V_k$  общего кровотока и повышая  $R_{т}$ . Но особенно заметно про-

является замедление при агрегатировании Э. Надо полагать, что сама агрегация в значительной степени связана с изменением электрического заряда  $e_3$ Э. Чем он меньше, тем выше вероятность возникновения агрегатирования Э. И, наоборот, при повышенных значениях  $e_3$ , сила взаимного отталкивания между следующими друг за другом эритроцитами возрастает и дистанция между ними увеличивается, что, естественно, уменьшает возможность  $A_3$ .

Вероятность наличия  $e_3$  у Э может быть подтверждена, с одной стороны, высоким содержанием железистого компонента в них, с другой — контролем процесса их формирования со стороны РФ с ее энергетическим потенциалом  $E_p$ . Не исключено, что имеет место зависимость:  $e_3 = \kappa \cdot E_p$ . Возможно, что именно этим можно объяснить факт улучшения кровообращения на уровне микроциркуляторной системы при воздействии электромагнитных полей.

Зависимость  $A_3$  от  $e_3$  можно представить в виде уравнения  $A_3 = \frac{\kappa}{e_3}$ . Условно представим, что регуляция АД осуществляется интраартериальными и экстраартериальными механизмами, взаимосвязанными между собой. Выше рассмотрены контуры регуляции интраартериального вида. Воздействие экстраартериальных механизмов на АД проявляется многолико, но в общем виде его можно свести к двум основным факторам: метеорологическим и социальным.

Метеорологические факторы воздействуют по нескольким каналам, связанным с рецепторами разной модальности: температурному, барометрическому, световому, звуковому, электромагнитному, ионизационному, влажному и др. Их влияние на АД осуществляется, видимо, преимущественно через РФ<sub>а</sub> и РФ<sub>х</sub>, путем изменения их активирующей функции вследствие стимуляции афферентными сигналами, приводящими к изменению  $E_{pa}$  и  $E_{px}$ , а также режима работы сердца, тонууса сосудов в соответствии с рассмотренными выше контурами регуляции, причем  $I_{aa}$  стимулирует РФ<sub>а</sub>, а  $I_{ax}$  — РФ<sub>х</sub>.

Можно предположить, что такие факторы, как электромагнитные излучения, ионизация, связанные с колебаниями атмосферного электричества и обусловленные в большинстве случаев изменениями солнечной активности [6], оказывают прямое воздействие на РФ, представляющую сгусток электрической энергии. Эти воздействия должны приводить к спонтанным изменениям  $E_p$ РФ и резким изменениям режима регуляции рассмотренных выше контуров регуляции, а вместе с ними величины АД.

Социальные факторы, воздействия которых на АД наглядно подтверждаются статистическими данными ВОЗ [7], влияют в основном через кору и ее основные сенсорные каналы — зрительный и слуховой. Авторы допускают, что эти факторы проявляются через сигнал  $I_{яцм}$ , воздействующий согласно уравне-

нию (3) на РФ по кортико-ретикулярным путям (КРП).

Указанные выше факторы метеорологического и социального характера на АД следует оценивать как внешние возмущающие воздействия на многоконтурную биологическую систему связанного автоматического регулирования АД, под влиянием которых происходит ее перестройка в определенной последовательности, в зависимости от ситуации. Так, при стрессовых ситуациях под влиянием сигнала  $I_{\text{нцм}}$  симпатoadреналовая система (САС) (контур XII регуляции), а также контуры регуляции, связанные с фазической системой, выступают на передний план, т. е. выполняют ведущую роль в обеспечении форсированного режима активирующей функции РФ, а через нее — всех остальных контуров регуляции.

С учетом рассмотренных выше контуров и анализа регулируемых АД параметров аналитическую зависимость АД в общем виде можно представить так:

$$P_a = f \left( m \cdot V_{\text{ксп}} f_p R_{\text{пс}} \frac{1}{S_p} E_{\text{рх}} \frac{1}{E_{\text{ра}}} \right).$$

В действительности эта зависимость имеет более сложный характер, тем более при ее полном динамическом диапазоне. Представленная выше схема регуляции АД убеждает, что она обеспечивается многими структурами и системами организма, размещенными в головном и спинном мозге, не говоря уже о рецепторном аппарате, локализованном по всему тракту С — С. А это значит, что причина нарушения АД не может быть однозначной, она многолика. Отсюда следует весьма важный практический вывод: подобно тому, как не может быть одной причины глаукомного заболевания, как это показано нами ранее [8], исходя из биорегуляции офтальмотонуса, так не может быть и одной причины гипертонического заболевания. Короче говоря, патогенез гипертонии может быть самым разнообразным, включая повышенное сопротивление периферической сосудистой системы, как одну из наиболее распространенных его причин. В связи с этим не должна удивлять высокая вариабельность АД, его индивидуальный характер с наследственными признаками, которые могут проявляться как в конструктивном оформлении всей системы, так и в ее отдельных контурах и их звеньях.

Вместе с тем ясно и другое, что для восстановления нормального режима многоконтурной системы регуляции АД, особенно на ранней стадии нарушения — первой стадии гипертонии, необходимо в качестве профилактических мер создавать такие условия, при которых максимально ограничены возмущающие воздействия, а еще лучше — добиться их стабильности на определенном отрезке времени, при котором могла бы проявить себя саморегулирующая способность нашего организма, в том числе и системы регуляции АД, на которую указывал И. П. Пав-

лов. Сам же процесс саморегуляции в значительной степени связан, видимо, с восстановлением и стабилизацией  $E_p R\Phi$  и нормального режима работы контуров. Поэтому периодическую организацию условий, при которых создается возможность восстановления нормального режима работы всей системы, можно рассматривать как одно из главных направлений в профилактике гипертонии.

Особенно важно следить за частотой ритма сердца, стабильное возрастание которого, как было показано выше, служит симптомом гипертонии или ее начальной стадии. Отсюда становится понятным физиологический смысл технических устройств в виде биотрона [9], обеспечивающих поддержание стабильных показателей ряда метеорологических факторов, а одновременно с ними и социальных (имеется в виду психологический климат в камере биотрона), их лечебный эффект, который заключается в том, что в биотроне создаются условия для максимальной реализации принципа саморегуляции. Ценность биотрона в наибольшей степени проявляется при функциональных нарушениях в системе регуляции АД и на ранней стадии гипертонических заболеваний, особенно той ее формы, причиной патогенеза которой является повышение ПС.

**Роль эмоционального фактора в регуляции АД** известна и проявляется главным образом через сигнал  $I_{\text{ицм}}$ , действующий на  $R\Phi$ . Согласно уравнению (3) он может как стимулировать (знак плюс), так и тормозить (знак минус) ее активизирующую функцию. По-видимому, сигнал  $I_{\text{ицм}}$  имеет дифференцированные пути воздействия на  $R\Phi_a$  и  $R\Phi_x$ , оказывая на них стимулирующее или тормозящее воздействие. При положительных эмоциях в большей степени стимулируется, видимо, АДНС и, как следствие, возрастает сигнал  $I_{a\bar{z}}$ , а вместе с ним понижается ПС, в то время как отрицательные эмоции, а также длительно поддерживаемая мобилизация организма, вызванная теми или иными причинами, сопровождаются повышенной активностью ХНС.

В этом случае, как показано выше, возрастает концентрация гормонов и нейромедиаторов трофотропного ряда, а вместе с ними блокируется активность АДНС и повышается ПС со всеми вытекающими последствиями. Разумеется, что каждый вид эмоции сопровождается вовлечением обоих типов нервной системы, но в зависимости от ее вида, с доминирующим участием одной из них. Особенно опасны частые повторения стрессовых ситуаций и длительная мобилизация организма, при которых под влиянием САС резко возрастает  $f_p$  сердца, а вместе с ней концентрация  $M_x$ , которая ослабляет функцию АДНС и приводит к стойкому повышению ПС вследствие понижения тонуса МСА.

Роль эмоционального фактора проявляется также через афферентные сигналы, вызывающие болевые ощущения. Последние

могут возникать практически через любой сенсорный канал, при условии, если его рецепторы испытывают сильно повышенные раздражения, не свойственные их обычному режиму работы. Эти сигналы, фазические по своей природе, особенно при сильных болях, оказывают мощное стимулирующее воздействие на РФ и, как следствие, изменяют режим регуляции АД.

Роль эмоционального фактора, одного из основных среди социальных факторов, отличается сложными механизмами и будет проанализирована в последующих сообщениях по регуляции С — С.

Резюмируя все изложенное выше, можно констатировать, что нарушения в регуляции АД, особенно на его ранней стадии, начинаются на уровне микроциркуляторной системы. Этот теоретический вывод имеет большую практическую значимость, связанную с профилактикой гипертонических заболеваний. Одним из важных диагностических критериев медицинской программы массовых профилактических обследований населения — первого этапа всеобщей диспансеризации населения, направленного на выявление лиц с нарушениями сердечно-сосудистой системы, в первую очередь с гипертоническими заболеваниями на их ранней стадии, должен быть параметр, позволяющий оценить тонус сосудов микроциркуляторной системы. Наиболее оптимально это можно проводить путем оценки микрососудов глаза. С этой целью нами разработаны приборы, позволяющие выполнять указанную задачу [2].

Программа технического оснащения проблемы всеобщей диспансеризации населения рассмотрена ранее. Руководствуясь целями практической реализации данной программы, нами проводятся исследования по разработке ее научных основ, включая биорегуляцию АД.

**Список литературы:** 1. *Ананин В. Ф.* Модель механизма регуляции сердечно-сосудистой системы человека: О механизме регуляции сердца. *Сообщение 1.* — Пробл. бионики, 1981, вып. 27, с. 93—103. 2. *Ананин В. Ф.* О механизме регуляции микроциркуляторной системы кровообращения. *Сообщение 2.* — Пробл. бионики, 1982, вып. 30, с. 86—96. 3. *Судаков К. В.* Системные механизмы эмоционального стресса. — М.: Медицина, 1981. — 228 с. 4. *Наследов Г. А.* Тоническая мышечная система позвоночных. — Л.: Наука, 1981. — 186 с. 5. *Ананин В. Ф., Артемов Е. Н.* Прибор для регистрации динамики калибра сосудов конъюнктивы склеры глаза. — В кн.: *Оптические приборы*. М., 1972, с. 46—48. 6. *Эллисон М. А.* Солнце и его влияние на Землю: — М.: Физматгиз, 1959. — 216 с. 7. *Организация борьбы с гипертонией и инсультом* / Под ред. комитета экспертов ВОЗ. Изд. г. Женева, 1977. — 363 с. 8. *Ананин В. Ф.* Регуляция офтальмотонуса и ее роль в патогенезе первичной глаукомы. — Мед. реф. журн., 1980, 169, с. 38. 9. *Панченко Д. И., Исаков Ю. А., Лукашевич Л. П.* Медико-биологическое значение биотрона и его физико-технические ресурсы. — К.: Здоровье, 1964. — 222 с.

*Поступила в редколлегию 30.06.82.*

А. Т. ФИЛАТОВ, д-р мед. наук, Г. А. КОЛОТЕНКО,  
канд. техн. наук, Т. И. АХМЕДОВ, канд. мед. наук

## МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПОТЕНЦИАЛОВ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА

Одна из основных проблем, решаемых при теоретических разработках самоорганизующихся бионических систем, — построение эффективного методического инструмента, основанного на системно-кибернетическом подходе пространственно-временных характеристик электронно-энцефалографического сигнала (ЭЭС). Построение моделей множества взаимосвязанных переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур — актуальная задача.

Цель данной работы — исследование возможностей использования файлов при построении гомоморфных переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга.

Решение поставленной задачи начнем с примера. Допустим, имеется 7 каналов измерения ЭЭС. Используя алфавитно-цифровую символику машинного языка УВК, можно предположить: наличие потенциалов амплитудно-порогового уровня, на котором производится автоматический анализ пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, соответствует в данном пространстве регистрации нулевой информации. Равенство или превышение ЭЭС равно байту. Каждый канал измерения пространственно-временных характеристик ЭЭС пронумерован согласно разряду формата УВК.

При появлении ЭЭС на одном из каналов (например, втором) наблюдаем два соответствия: во-первых, формируется переменная пространственно-временная организация асинхронного потенциала головного мозга, что идентично структуре первого иерархического уровня; во-вторых, при переводе на символьное изображение получают метку-пробел. В восьмиричном коде 4 — это цифра 40. В таком случае системы множества взаимообусловленных и взаимозависимых переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга удобно характеризовать буквами русского алфавита. Тогда появление, например, сочетания переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга в моменты времени  $M_1, M_2, M_3, M_4$  позволяет записать

$M_1$  — 1100110 — Ф — 146

$M_2$  — 1100001 — А — 141

$M_3$  — 1101010 — Й — 152

$M_4$  — 1101100 — Л — 154,

где во второй колонке логическая единица соответствует наличию потенциала в зоне регистрации. При чтении букв сверху вниз в третьей колонке образуется слово «файл», в четвертой, колонке — это же слово в восьмиричном коде.

В таком случае ранжирование переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга соответствует не формальной сортировке буквенных символов, а речесмысловому характеру, о котором упоминалось в первом сообщении по данной теме. Получается, что головной мозг с помощью буквенных символов сообщает (информирует) о своем состоянии. В этом случае кибернетик устанавливает контакт с головным мозгом исследуемого организма при помощи специализированного устройства для автоматического анализа переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга и УВК, являющегося его концентратом, на уровне первой сигнальной системы, вызывает интересующие его состояния осознанно, получает ответы из сферы неосознанного, переводя ЭЭС символику в реальное время на общеизвестный разговорный язык, понятный для восприятия и осознания. Исследования могут проводиться на самом экспериментаторе, являющимся в данном случае подсистемой замкнутой эргатической системы.

Аналогичные отношения могут быть установлены с миром птиц, рыб, разнообразных животных, минуя специфический язык акустических звуков. Между разными классами живого мира устанавливается глобальный символичный ЭЭС язык.

В более фундаментальном плане автоматизированное преобразование множества взаимосвязанных переменных пространственно-временных ЭЭС характеристик позволяет разработать универсальный язык всего живого, имеющего нервную систему любого уровня развития и обладающего электрической активностью. По обратной связи символический разговорно-акустический язык человека может быть кибернетически транслирован на машинный код УВК, преобразован и в виде череды переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур генерирован в зоны, интересующие экспериментатора. Ответ получают по обратной связи. Символьно-языковая система отношений в форме электрической активности центральной нервной системы является более общей, чем акустико-звуковая. В связи с этим кибернетический анализ символической информации об изменении пространственно-временных характеристик приобретает особое значение.

Как отмечено ранее, автоматически проанализированные ЭЭС реализации после преобразования в символьную информацию в виде файлов могут транслироваться в перемещаемый ряд бионических подпрограмм, которые с этого момента являются утилитарными и могут включаться в ДОСРВ в форме диск-резидентных или фоновых бионических программ, соответствующих определенной направленности переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга при различных функциональных состояниях организма. С указанной целью может быть использован управляющий оператор НРАЛ на диалекте АЛГОЛа, который способен определять символы пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга и в конечном режиме устанавливать режим транслятора.

Множество рядов взаимосвязанных фоновых диск-резидентных специализированных подпрограмм, функциями которых является формирование пространственно-временных характеристик ЭЭС реализаций (выраженных в виде отрезков символьной информации), коррекция и распечатка файлов на магнитном диске и перфоленте, представляет своеобразный редактор символьной информации об изменении этих характеристик в ДОСРВ. Такой редакторский файл может быть расположен в ОЗУ и содержать команды редактирования, а символьный (на диске) — исходный закодированный ЭЭС материал. Бионический редакторский файл — это файл с редактирующей информацией. Такой методический инструментарий весьма важен при сглаживании индивидуальных и артефактных помех, в результате чего повышается степень надежности автоматического анализа пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга.

При сравнении абсолютного субкомплекса бионических вероятностных подпрограмм переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга и поступающих пространственно-временных характеристик ЭЭС реализаций восполнение «недостающих» пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга является мнимым. Это «исправление» несуществующих ошибок, поскольку такой технологический процесс автоматического анализа — своеобразное оперативное редактирование без нарушения структур пространственно-временных организаций ЭЭС, позволяющих увеличить число регулирующих или управляющих устройств, которые работают по их же принципу. Резервирование на такой основе не зиждется на индивидуальном отклонении, а учитывает его, срабатывая по вероятностным синхронным и асинхронным элементам.

Файлы могут быть переменной и фиксированной длины в зависимости от характера ЭЭС реализаций. Для ЭЭС файлов фиксированной длины  $L = \text{const}$  допускается ввод-вывод про-

странственно-временных характеристик ЭЭС последовательно или по номеру записи.

Набор вероятных бионических подпрограмм пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга образует тезаурусы и каталоги ЭЭС файлов. При оперативной обработке ЭЭС реализаций и формировании новых индивидуальных ЭЭС файлов в реальном масштабе времени производится обращение к тезаурусам ЭЭС файлов. Это позволяет идентифицировать их по стандартной классификации, маркировать и, пропуская через модемы, эквивалентно преобразовывать. Каждый ЭЭС файл можно активизировать и деактивизировать (CLOSE), получать информацию о его состоянии, наконец, устанавливать позицию (APOSN). Кибернетик, ведущий системное исследование множества аналогичных и разнообразных ЭЭС реализаций по данной методике, одновременно может инициализировать (размечать) IN магнитные диски, копировать файлы вариабельно-пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, копировать ЭЭС файлы закодированных одного или нескольких функциональных состояний организма с одного магнитного диска на другой. ЭЭС файлы, используемые в стабилизированном микропрограммировании, могут быть расположены на дорожках системных и дополнительных дисков. Для операций с ЭЭС файлами предназначены дорожки с периферийными магнитными дисками.

ЭЭС файлы можно классифицировать на дисковые переменной длины (*c*-файлы), соответствующие, как указано, фиксированной ЭЭС реализации в однократном или многократном («лонгитудинальном») режиме, и дисковые переменной длины (*v*-файлы), позволяющие расширить методические атрибуты автоматизированного анализа множества взаимосвязанных вариабельных характеристик ЭЭС в комплексе с другими показателями электрофизиологических явлений. ЭЭС файлы унифицированы для стандартизированных вызовов соответствующих бионических подпрограмм, например, EOF означает код конца ЭЭС файла.

Для современного уровня автоматического анализа взаимообусловленных вариабельных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур характерны *c*-файлы ЭЭС. При одновременном обращении подмножества бионических подпрограмм к одному *c*-файлу могут возникнуть конфликтные ситуации, которые в простейшем случае можно устранить в монопольном режиме при активации *c*-файла. Файлы *c*, *v* имеют ( $\pm$  и 0) коды защиты. При (+) файл ЭЭС считывается, но запись с него запрещена, при (-) *c*-файл ЭЭС диактирован (закрит). В случае нулевого кода защиты любая бионическая подпрограмма обращается к файлам проанализированных пространственно-

временных организаций потенциалов головного мозга, вводит и выводит текущую информацию.

Открытому *c*-файлу отвечает блок управления данными (ДСВ) с массивом главной памяти, включает длину буфера, содержимое которого физически записывается WRITE или читается READ с магнитного диска. Блок управления данными используется также для разрешения ссылок к *c*-файлу. Длина буфера — это длина считываемого и записываемого *c*-файла множества взаимозависимых и взаимообусловленных переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга иерархических структур при различных функциональных состояниях организма (в норме и при патологии).

Таким образом, *c*-файл — это символическое выражение набора закодированных и упорядоченных переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур, проявляющихся и накапливающихся за период ЭЭС реализации. Буфер — это электронный узел, предназначенный для пересылки закодированных организаций потенциалов головного мозга, для записи на магнитный диск или для чтения с него. *C*-файл по OPEN активизируется (открывается), по GREAT маркируется (метится) с выделением дорожки на диске. Если предполагается вывод записей файла или их модификация при корректировке *c*-файла, его надо открывать. Активизация *c*-файла в монопольном режиме устанавливает деактивацию остальных *c*-файлов множества взаимообусловленных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга.

В мультиплексном режиме ограничения монопольного режима снимаются, и активация *c*-файлов может быть поочередная либо соответствовать тенденции, характерной для данного функционального состояния организма. Позиционирование APOSN открывает прямой доступ к *c*-файлу или *v*, NAMF переименовывает *c*-файл множества взаимообусловленных дифференцированных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур. По LOCF кибернетик получает информацию из ДСВ о состоянии активизированного *c*-файла, который по CLOSE может деактивировать в ДСВ, оставляя его доступным для сравнения с любым множеством бионических подпрограмм. Вес множества переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга регламентируется не только длительностью ЭЭС реализаций, но номенклатуруется по CLOSE. По ST интервал, передаваемый из *c*-файла и называемый *c*-подфайлом, пересылается из диска на другое устройство либо проинформировывается к одному или нескольким *c*-файлам ЭЭС на НМД.

*S*-файлы в дисковых *s*-файлах ЭЭС разделяются записями нулевой длины. На недисковых устройствах *s*-файлы разделяются лидером или маркирующей отметкой. *S*-файлы ЭЭС могут дифференцироваться по емкости, определяющей их меру; *s*-подфайлы в дисковых файлах способны образовывать записи нулевой длины. Они могут быть пропусками или спецпаузами переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур, образующих спецтайм-ауты, которые ведут в конечном итоге к возможному прерыванию бионических подпрограмм, если очередность и направленность не соответствуют вероятной объективности развития биоэлектрических событий.

В других случаях переменность множества пространственно-временных организаций может чередоваться *s*-подфайлами ЭЭС, условно названными символами  $\text{патг}_1, \text{патг}_n$ . В специализированном бионическом наборе подпрограммы множества *s*-подфайлов могут метиться и копироваться ДИ, представляя информационные пустоты. Счет нулей *s*-подфайлов может производиться по определенной частоте синхронизирующих, тактовых импульсов, а по окончании ЭЭС реализации частота может меняться до начала автоматизированного анализа следующей ЭЭС реализации. Перекодировка переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга иерархических структур с машинного языка на символьный позволяет получить исходный *s*-файл реализации, который может быть передан MS в область системного диска и приобрести ранг абсолюта.

Если в  $\text{патг}_1, \dots, \text{патг}_i, \dots, \text{патг}_n$  заданы названия *s*-файлов ЭЭС или *s*, *v*-файлов ЭЭС, то команды  $SA_1, \dots, SA_i, \dots, SA_n$  передают информацию в *s*-файлы ЭЭС при помощи  $F-C_1, \dots, F-C_i, \dots, F-C_n$ . Размеры файлов  $F-C$  дифференцируются реализацией ЭЭС согласно функциональным состояниям организма. В существующих УВК SA передает записи, длина которых не больше 128 слов, в противном случае по CLOSE произойдет усечение. Замена LL закодированной пространственно-временной характеристики ЭЭС в реальном масштабе времени вероятной бионической подпрограммой в случае экстремальных условий исследуемого объекта при сохранении нормального функционирования подсистемы «исследуемый объект — УВК — кибернетик» бионические подпрограммы выступают в роли системы автоматического регулирования, так как имитируют информацию реализуемого исходного файла ( $F-C_i$ ) другим файлом — ( $F-C_j$ ).

Автоматический анализ, производимый параллельно, позволяет по данным  $F-C_i$  оценить функциональное состояние множества взаимосвязанных переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов

головного мозга в целях объективной дифференциальной диагностики.

В связи с этим по ДЛ можно обратиться к справочным с-файлам отдифференцированных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур для установления аналогий. В случае необходимости в процессе эксперимента имеется возможность изменить режим регистрации SV ЭЭС реализаций. Для вывода информации об изменении переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга иерархических структур на видеотерминалы или устройство быстрой печати может быть использован драйвер. В данном случае драйвер представляет служебную программу для запуска устройств ввода-вывода и управления ими в период пересылки множества взаимосвязанных переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга.

Вероятные бионические подпрограммы пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга могут распределяться в области супервизора ОЗУ. Супервизор — это управляющая, координирующая программа, позволяющая запускать и останавливать вероятные бионические подпрограммы для автоматического анализа пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, выраженные на языке машинного кода. Такой специализированный супервизор распределяет подпрограмму между несколькими процессорами в многомашинных системах, осуществляет связь между программами тезауруса, производит дифференцированный отбор специализированной программы, необходимой в данный момент, автоматически контролирует изменение ЭЭС показателей и выдает информацию, например, на дисплейные модули.

Бионические подпрограммы переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, расположенные в области супервизора, могут быть драйверами, сервисными подпрограммами, необходимыми для адаптивного коммутирования устройств связи и прерываний, специализированных подпрограмм для помоментных сравнений исходной и стандартизированной подпрограммы пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга. Такого типа одна подпрограмма ЭЭС может вызвать другую и, развиваясь по методу сетей, самоорганизованно прерывается, например, по инициативе переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга в помехоустойчивые режимы. Прерывание текущей ЭЭС реализации и переход на подпрограмму с типизированными нормальными условиями может быть обусловлено установками таймера.

ЭЭС реализация может рассматриваться как исходный материал для автоматического составления бионических подпро-

грамм множества переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур соответствующих функциональных состояний организма. Начало ЭЭС реализации является маркировкой для генерации вновь формируемой индивидуальной бионической подпрограммы, которая затем при автоматизированном сравнительном анализе дифференцируется и при нахождении вероятных пространственно-временных изохронных и диахронных элементов синтезируется со стандартизированной бионической подпрограммой такого типа, соответственно корректируя характеристики последней.

После преобразования в десятичный код командой YSB EXEC на МНМОКОДе, CALL на ФОРТРАНе, CODE на АЛГОЛе бионическая подпрограмма может передать управление супервизору, например CALL EXEC ( $n_1, \dots, n_i, \dots, n_n$ ), где  $n$  — идентификаторы ряда бионических подпрограмм, передающих управление супервизору операционной системы реального времени (ОСРВ). Эта система позволяет идентифицировать множества взаимосвязанных переменных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур в многозадачном режиме реального масштаба времени. Набор подпрограмм может передаваться в ОЗУ, откуда их можно извлекать для многоканального автоматического анализа. Поэтому они резидентны, и терминал внешней памяти на магнитных дисках в данном случае играет вспомогательную роль. Сравнение подпрограмм текущей и записанной в существующих УВК одновременно невозможно. Так как буферирование отсутствует, то одномоментный ввод-вывод одной и той же подпрограммы для параллельного анализа переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга невозможен, поэтому для АСВТ важно повышение быстродействия.

Изохронные и полихронные элементы электрической активности головного мозга также невозможно воспроизвести даже с помощью самой технически насыщенной вычислительной системы, если предварительно не будет проведен предложенный нами автоматический анализ множества переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга иерархических структур при различных функциональных состояниях организма. Даже ДОСРВ в отличие от ОСРВ, позволяющая использовать высокоприоритетные резидентные задачи информационно-статистического анализа, не может отобразить нюансы вероятностных изменений пространственно-временных характеристик.

Таким образом, выбранный системно-кибернетический подход к автоматическому анализу множества взаимосвязанных переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга иерархических структур при различных

функциональных состояниях организма (в норме и при патологии) является правильным, целесообразным и рациональным. Приоритет выбранного направления в случае решения сложных теоретических и прикладных задач в аспекте пространственного распределения характеристик ЭЭС во времени несомненен, так как предложенный методический системно-кибернетический инструментарий эффективен и перспективен.

*Поступила в редколлегию 12.06.84.*

---

УДК 62.506.2

*Ю. И. ЗОЗУЛЯ, канд. техн. наук, О. А. КОЛЕСНИКОВ*

**СОГЛАСОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ, ОТРАЖАЮЩИХ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ И ОТОБРАЖАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ НООСФЕРЫ.**

*СООБЩЕНИЕ 2*

---

В предыдущем сообщении [1] было показано, что фундаментальной основой для разработки такой прикладной теории, как теория согласования организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем ноосферы, является общая теория согласования.

Она призвана изучать достаточные условия и разрабатывать эффективные правила совместной производственной деятельности организационных элементов территориальной системы. Раскрывая объективные законы согласования элементов в системе, она должна акцентировать внимание на реальных возможностях достижения функционального и дополнительного соответствия между элементами системы. Ей предстоит также дать обоснованные ответы на вопросы о реальном существовании обобщенной системы и об осуществимости проектов создания подобных ей искусственных систем, способных эффективно прогнать попытки вызвать любые, какие угодно наперед заданные изменения в их поведении.

В отличие от теории идеи согласования, рассматривающей организационные элементы органически соединенными в жесткий механизм формальной организации, теория согласования ориентируется на изучение естественно складывающейся, гибкой организации элементов, участвующих в производственной деятельности. В то же время теория согласования отличается от теории принципа согласия, наделяющей организационные элементы произвольными целевыми функциями и любыми необходимыми для их реализации резервами. Теория согласования исходит из ограничений, накладываемых на деятельность орга-

низационных элементов и систем особенностями того или иного способа производства материальных благ, особенностями, изучаемыми марксистской социологией.

Носящая прикладной характер теория согласования организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем ноосферы учитывает дополнительные ограничения, общие для всех способов производства и отражающие естественные, природные особенности территориальных информационных систем.

*Основные положения теории согласования.* Результатом согласования организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем ноосферы является формирование новых, квазиорганизационных элементов и систем, которые можно рассматривать, с одной стороны, как организационные элементы и системы, дополненные отражающими биологическими и отображающими техническими элементами и системами, а с другой — как отражающие биологические и отображающие технические элементы и системы, наделенные ролевыми функциями организационных элементов и систем, дополняющие и эффективно заменяющие их в определенных отношениях. Подобные квазиорганизационные элементы и системы при конкретном способе производства оказываются теми обобщенными системами Ч. Черчмена, которые замкнуты и остаются замкнутыми в течение исторического периода, в пределах которого данный конкретный способ производства является доминирующим.

Ясно, что, являясь замкнутой, обобщенная система не обязательно закрыта, т. е. в отличие от последней она может обмениваться с другими системами энергией, сигналами, информацией, оставаясь при этом замкнутой. Замкнутость системы, способность оставаться замкнутой при любом взаимодействии с другими системами (в любой среде), проявляется в том, что при этом взаимодействии (в этих средах) она сохраняет свою устойчивость или, шире, не изменяет своей сущности. Как раз в последнем смысле идея обобщенной системы близка к идее абсолютной гармонии.

О замкнутой системе нельзя также сказать, что она есть непознаваемый объект — вещь в себе И. Канта. Обмен информацией с другими системами может доставлять последним объем информации, достаточный для познания структуры и принципов организации замкнутой системы. Однако знание принципов организации не позволяет их изменить, так как они фундаментальны, имеют силу объективных законов. Поэтому-то обобщенная система — это система, «остающаяся замкнутой во всех возможных средах».

Определению, данному Ч. Черчменом, полностью удовлетворяет одна единственная реальная система — материя. В противостоящей ей реальной системе — сознанию — она только отра-

жается, но поскольку сознание вторично, оно не в состоянии изменить законы движения материи и принципы ее организации. Сознание может только способствовать их более полному раскрытию. Материя есть замкнутая система, остающаяся замкнутой в пространстве-времени. Законы ее движения объективны.

Таким образом, Ч. Черчмен, говоря об обобщенной системе, указал на еще одно (системное) определение материи. В то же время он попытался применить его для характеристики таких искусственных объектов, как конструкции, которые, являясь частями единой материи, заведомо строятся по определенному проекту при обязательном участии сознания человека. Поэтому он вынужден был признать, что обобщенная система-конструкция неосуществима, т. е. не может быть реализован какой бы то ни было проект создания конструкции, имеющей свойства обобщенной системы. И в этом он прав. Однако такой вывод не означает, что обобщенной системы не существует. Обобщенная система-материя объективно существует. Конструкцию же, сравнимую по своим свойствам с материей, создать действительно нельзя, поскольку ее построение заведомо будет опосредовано сознанием, вторичным по отношению к материи, отражающим ее, но никогда не дающим в какой-то фиксированный момент времени полного знания законов ее организации.

В то же время нет оснований для отрицания принципиальной возможности создания конструкций, сравнимых по своим свойствам с конкретными типами сознания, наделенными способностью отражать материю как единое целое и способными противостоять ей (замыкаться) при соответствующих способах производства. И эту возможность Ч. Черчмен, видимо, имеет в виду, когда пишет, что конструкцию, сколь угодно близко приближающуюся по своим свойствам к обобщенной системе, можно построить.

Учитывая все сказанное, можно прийти к выводу, что определение обобщенной системы, данное Ч. Черчменом, требует уточнения. Чтобы его можно было использовать для характеристики конструкций, необходимо ослабить в определении те признаки, по которым понятие «обобщенная система» отождествляется с понятием «материя», и усилить признаки, по которым понятие «обобщенная система» сближается с понятием «сознание».

Так, если бы сознание отразило единую материю в какой-то фиксированный момент времени, то оно оказалось бы тождественным ей, оказалось бы замкнутым, как материя. Но это состояние является лишь предельным для сознания, т. е. в общем случае оно разомкнуто. И если сознание — это разомкнутая система, способная адекватно отражать материю (замыкаться отражением), то обобщенная система — это разомкнутая система,

способная дополнять себя до замкнутой (замыкаться) в рамках данного фиксированного способа производства. В пределе обобщенная система тождественна организационной системе с искусственным (идеализированным или схематизированным) сознанием. Само же это искусственное сознание поддается уже математическому описанию и исследованию с помощью математических методов.

В частности, если схематизировать исторические типы сознания, соответствующие социальным группам, слоям, классам или целым обществам, то согласно этим схемам можно построить разные типы обобщенных систем, замкнутых в известных в истории общественно-экономических формациях. Тогда задача согласования организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем, в конце концов, сводится к задаче формирования на их базе квазиорганизационных (общественных) систем одного типа, соответствующего наиболее прогрессивному способу производства в данном обществе (если оно многоукладное). Организационные элементы и системы, соответствующие более отсталым хозяйственным укладам, должны быть так дополнены передовыми организационными, отражающими биологическими и отображающими техническими элементами и системами, чтобы на их базе можно было создать квазиорганизационные системы, соответствующие по типу (логике действий, схеме мышления) более прогрессивному способу производства. Разработка необходимых для этого общих организационных и технических мероприятий составляет прикладной аспект теории согласования, задачу той части теории политики, которая призвана решать проблему политических компромиссов [2].

*Аксиоматическое определение ноосферы.* Носящая прикладной характер математическая теория согласования организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем ноосферы, как было отмечено выше, учитывает ограничения, общие для всех способов производства и отражающие естественные природные особенности территориальных информационных систем. Наиболее полно и емко эти особенности отражаются в понятии ноосферы — сферы разума по В. И. Вернадскому [3].

В соответствии с представлением В. И. Вернадского ноосфера — это высшая ступень развития биосферы Земли, для нее характерно определяющее значение разумной деятельности человека, человеческого общества по преобразованию природы Земли. Ноосфера — это среда, в которой организационные, отражающие биологические и отображающие технические элементы и системы находятся в определенном (разумном) отношении, дополняют друг друга до единого целого.

Структуру ноосферы в узком смысле можно определить аксиоматически как множество организационных элементов,

объединенных в организационные системы (подмножества этих элементов) так, что выполняется аксиома различения  $A_1$ . Два различных организационных элемента ноосферы объединены не более чем в одной организационной системе.

В противном случае организационные элементы не являются различными или же организационные системы, в которые они входят, являются идентичными в смысле формирования основных отношений между организационными элементами.

Кроме того, можно считать, что множество организационных элементов ноосферы, как ее базовая организация, таким образом дополнено до единого целого множеством подмножеств отражающих биологических и отображающих технических квазиорганизационных элементов и множество их подмножеств элементов и систем, что на их основе возникают множества (квазиорганизационных систем), для которых справедливы аксиомы:

$B_1$  (аксиома различения). Два различных квазиорганизационных элемента ноосферы объединены в рамках одной и только одной квазиорганизационной (обобщенной) системы;

$B_2$  (аксиома связи). Любые две квазиорганизационные системы ноосферы имеют по меньшей мере один общий квазиорганизационный элемент.

В соответствии с этим аксиоматическим определением базовая организация ноосферы (множество подмножеств организационных элементов) есть геометрическая конфигурация циклов взаимодействия организационных элементов, а ноосфера в целом (множество подмножеств квазиорганизационных элементов) есть свободная проективная плоскость, порожденная базовой конфигурацией.

Для управления ноосферой, точнее, для ее самоуправления необходимо, чтобы ее структура могла быть координатизирована, т. е. чтобы существовала некоторая система социальных показателей [4], с помощью которых структура ноосферы могла бы представлена и достаточно точно описана.

В частности, число логическое (булево) управление организационными элементами и системами ноосферы (самоуправление) возможно, если структура ноосферы как геометрии координатизируется полем характеристики 2. В противном случае логическое управление оказывается недостаточным и для сведения нелогических задач управления к локальным логическим необходим учет более тонких, индивидуальных особенностей организационных элементов и систем.

Формально, если структура ноосферы не координатизируется полем характеристики 2, то для нее не выполняется проективно (аффинно или локально может выполняться) конфигурационное предложение  $7_3$  [5]. Выполняется противоположная ему аксиома Фано.

Сама конфигурация  $7_3$  координатизируется алгеброй Кэли — Диксона над полем двузначной (булевой) логики [6]. Отри-

вание конфигурационного предложения  $7_3$  может рассматриваться как переход к близким конфигурациям, координатизируемым либо алгеброй Кэли — Диксона над полем трехзначной модульной логики, либо алгеброй Кэли — Диксона над полем действительных чисел (алгеброй Кэли), либо другими альтернативными и почти-альтернативными алгебрами, а также алгебрами с ассоциативными степенями (моноассоциативными алгебрами).

Тогда можно считать, что системе социальных показателей в общем случае соответствует геометрическая ткань, или сеть, координатируемая моноассоциативной алгеброй, — сеть, для которой выполняется условие шестиугольности [7]. Эта сеть покрывает то пространство, в котором определена структура ноосферы как геометрии, координатируемой одним из вариантов алгебры Кэли — Диксона. Организационные и квазиорганизационные элементы ноосферы могут быть представлены в этом пространстве как отдельные точки или их наборы (тела). Организационные и квазиорганизационные системы могут рассматриваться как прямые линии или их наборы в смысле той проективной геометрии, которая соответствует структуре ноосферы.

В качестве одной из интерпретаций пространства представления элементов и систем ноосферы может быть рассмотрено трехмерное пространство обобщенных симптомокомплексов геометрические объекты которого (точки, линии, тела и пр.) представляют собой различные сочетания индивидуально-психологических характеристик элементов и систем ноосферы.

Пример действительного нелинейного трехмерного пространства симптомокомплексов ( $\psi$ -пространства), элементы которого описываются с помощью алгебры Кэли, был рассмотрен нами в [8].

С точки зрения геометрии тканей [9] обобщением шестиугольных трехмерных пространственных тканей из плоскостей являются пространственные ткани общего вида, образованные семействами поверхностей

$$u_j(x, y, z) = u_j = \text{const} \quad (j = 0, 1, 2, 3), \quad (1)$$

с уравнением ткани общего вида

$$W(u_0, u_1, u_2, u_3) = 0. \quad (2)$$

Последнее можно получить, исключив из системы уравнений (1) переменные  $x, y, z$ .

Пространственная ткань является шестиугольной (выполняется условие шестиугольности), если функция ткани  $W$  — линейная и приводится к виду

$$W = u_0 + u_1 + u_2 + u_3. \quad (3)$$

Из условия (2) может быть получено соотношение

$$u_0 = -(u_1 + u_2 + u_3) = u_0(x, y, z), \quad (4)$$

которое можно рассматривать как математическое выражение некоторой функции цели, зависящей от трех независимых параметров. Семейство поверхностей  $u_0(x, y, z) = u_0 = \text{const}$  есть тогда не что иное, как множество поверхностей уровня функции цели (4).

В целом же исследование структуры пространства представления элементов и систем ноосферы сводится к изучению функций цели организационных элементов и систем. При этом в отличие от теории принципа согласия [10] в рамках теории согласования организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем ноосферы интерес представляют не произвольные, а только те функции цели, которые не порождают значительных деформаций структуры пространства представления реально существующих организационных элементов и систем, а поддерживают существующую в нем структуру шестиугольной пространственной ткани. Возникновение значительных деформаций структуры пространства представления может свидетельствовать о наличии существенных противоречий в развитии организационных и квази-организационных элементов и систем, ведущих к существенным структурным изменениям ноосферы, подлежащим изучению в рамках теории катастроф [11].

**Список литературы:** 1. Зозуля Ю. И. Согласование организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем ноосферы. *Сообщение 1.*— Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 47—51. 2. Лебедев А. А. Проблема политических компромиссов.— В кн.: Ленин как политический мыслитель.— М.: Политиздат, 1981, с. 180—199. 3. Вернадский В. И. Размышления натуралиста: Научная мысль как планетное явление.— М.: Наука, 1977.—191 с. 4. Нерсесова Е. Х. Гносеологический аспект проблемы социальных показателей.— М.: Наука, 1981.—158 с. 5. Скорняков Л. А. Проектирование плоскости.— Усп. мат. наук. 1951, 6, № 6, с. 112—154. 6. Фрейденталь Г. Октавы, особые группы и октавная геометрия.— Математика, 1957, 1, с. 117—153. 7. Белоусов В. Д. Основы теории квазигрупп и луп.— М.: Наука, 1967.—223 с. 8. Зозуля Ю. И. Учет и использование индивидуальных особенностей обучаемых и обучающихся в ЧМОС.— В кн.: Тез. докл. I Всесоюз. конф. «Человеко-машинные обучающие системы». М., 1979, с. 92—93. 9. Бляшке В. Введение в геометрию тканей.— М.: Физматгиз, 1959.—144 с. 10. Волгин В. Н. Принцип согласованного оптимума.— М.: Сов. радио, 1977.—114 с. 11. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения.— М.: Мир, 1980.—60 с.

Поступила в редколлегию 18.01.85.

## МОДЕЛИ РОСТА СПОРТИВНОГО РЕЗУЛЬТАТА

1. Одним из формировавшихся направлений общей системы управления спортивной тренировкой является анализ роста спортивных результатов. Из-за влияния огромного количества факторов на спортивный показатель построение адекватной математической модели весьма затруднительно [1]. Поэтому исследования в основном ограничивались привлечением хорошо разработанных интер- и экстраполярных формул. В данной работе для оценки времени достижения заданного результата пловцами высокой квалификации предложены модели, основанные на использовании аппарата теории случайных процессов.

2. Опишем модели роста результата на отдельном тренировочном этапе с помощью конструкции, которая в терминологии технических систем называется процессом наработки [2]. Для этого будем интерпретировать спортивный результат как непрерывно изменяющийся во времени показатель, зависящий от воздействия параметров двух типов. К первому типу относятся множество постоянно действующих факторов: особенности обеспечения спортивной тренировки (инвентарь, оборудование штата, спорт. сооружения и т. п.); уровень материально-технической базы (качество и количество спортивного инвентаря оборудования, сооружений, штата и т. д.); особенности влияния социальных условий (воздействие общества, семьи, коллектива тренера и т. д.); развитие индивидуальных психо-физиологических характеристик спортсмена (врожденные, приобретенные) [3]

Ко второму типу относится множество вероятно действующих факторов: изменение в обеспечении спортивной тренировки (в штате, в использовании инвентаря и оборудования, в воздействии внешней среды и т. п.); особенности изменения материально-технической базы (выход из строя основных или вспомогательных спортивных сооружений, поломка инвентаря, недостатки транспортного обеспечения, нарушение гигиенических показателей и т. д.); изменение во влиянии социальных условий (сдача зачетов, экзаменов, перемена запросов коллектива к индивидууму, изменение «социального статуса» и т. д.); изменчивость психо-физиологических характеристик (болезни, травмы, психические расстройства, изменение мотивации спортсмена к тренировкам и т. д.).

Воздействия множества вероятностных факторов (иными словами, срывы) в описываемых конструкциях мы будем клас-

сифицировать либо как задерживающие, либо как снижающие (разрушающие) достигнутый уровень спортивных показателей, в зависимости от характера изменения результата пловца. А именно, мы будем называть задерживающими те вероятностные факторы, в момент окончания воздействия которых результат спортсмена остается на прежнем уровне. Снижающими — те, после которых программу тренировочного этапа спортсмену необходимо начинать заново. При этом продолжительности срывов указанных видов будут выражаться тренировочным временем, в течение которого пловец не выполнял намеченную программу.

В рамках рассматриваемых моделей принято, что в тренировочные периоды \* результат спортсмена растет с постоянным «темпом».

Определим  $v(t) = 0$ , если в момент  $t$  тренировочного периода спортсмен не выполняет программу занятий;  $v(t) = 1$  — если программа тренировок выполняется. Тогда  $N(t) = \int_0^t v(x) dx$  есть чистое отработанное спортсменом время к моменту тренировочного периода. С процессом  $N(t)$  связывают так называемый процесс наработки  $\Omega(t)$ , определяемый следующим образом:  $\Omega(t) = N(t) - \int_0^{\tau_t} v(x) dx$ , где  $\tau_t$  — момент последнего разрушающего срыва тренировочного процесса на интервале  $(0, t)$ .

Применительно к рассматриваемой нами конструкции требуется некоторое обобщение указанного процесса. А именно, пусть  $k$  — некоторая константа. Определим процесс  $\Omega k(t)$ , который применительно к рассматриваемым ниже моделям будем называть процессом роста спортивного показателя, следующим образом:

$\Omega k(t) = kN(t) - k \int_0^{\tau_t} v(x) dx$ . Введенный процесс  $\Omega k(t)$  аппроксимирует рост спортивного результата. При этом  $k$  позволяет учитывать средний «темп» роста достижений пловца.

Во время выполнения тренировочной программы на интервале  $(t, t+dt)$  может произойти либо задерживающий срыв (с вероятностью  $\alpha_0 dt$ ), либо снижающий (разрушающий) с вероятностью  $\alpha_1 dt$ . Длительности таких промежутков, т. е. срывов указанных видов — независимые случайные значения  $\Psi_0$  и  $\Psi_1$  с произвольными законами распределения. Если срыв в росте результатов произошел в момент  $t'$ , а в момент  $t'' > t'$  возобновлен тренировочный процесс, то  $v(t) = 0$  при  $t \in (t', t'')$ . Кроме того, в случае срыва задерживающего рост спортивного результата  $\Omega k(t''+0) = \Omega k(t'-0)$ . При разрушающем срыве

\* Здесь и далее под тренировочным периодом понимается сумма интервалов времени занятий на тренировочном этапе:

$\Omega k(t'' + 0) = 0$ . Следовательно, разрушающий срыв возвращает процесс  $\Omega k(t)$  к исходному уровню результата.

Описанная модель (модель I) не учитывает наличие общеподготовительного периода, который практически планируется в каждом тренировочном цикле. Он необходим для формирования специфических изменений в основных функциональных системах организма. В рамках следующей предлагаемой конструкции (модель II) учитывается такой этап. Длительность рассматриваемого подготовительного периода является случайной величиной  $\eta_0$ . Поскольку траектория изменения результата на данном периоде не существенна (важна лишь длительность такого подготовительного этапа), то далее для удобства считаем, что на всем указанном промежутке уровень результатов остается постоянным. При этом влияние случайных факторов отразится на увеличении суммарной длительности  $\eta_{00}$  общеподготовительного периода, при определении которой следует учитывать наличие случайных промежутков задерживающих факторов, а также то обстоятельство, что после воздействия разрушающего фактора вся программа этапа, описываемого моделью II, будет начата заново, включая и промежуток  $\eta_{00}$  независимо от момента такого воздействия.

3. Для модели I пусть  $\eta_l(B, x)$  — время достижения планируемого уровня результата  $B$ , при среднем «темпе»  $k$  роста результата, с учетом воздействия случайных срывов, когда подготовка пловца начинается с уровня  $x$ , где  $(0 \leq x \leq B)$ . Преобразование Лапласа — Стильеса для функции распределения случайной величины  $\eta_l(B, x)$  обозначим через  $\eta_l(B, x, S)$ , а соответствующее математическое ожидание — через  $\eta_l(B, x)$ .

Найдем  $\eta_l(B, x, S)$ . Уравнение, определяющее эту функцию, можно получить методом введения дополнительного события [4].

Возьмем число  $S > 0$  и предположим, что происходят определенные катастрофы, моменты наступления которых образуют пуассоновский процесс с параметром  $S$ . Тогда число  $\eta(B, x, S)$  есть вероятность того, что за время достижения  $\eta_l(B, x)$  заданного уровня не произойдет никакой катастрофы. Назовем интервалы восстановления  $\Psi_0$  и  $\Psi_1$  «плохими» или «хорошими» в зависимости от того, наступает или не наступает на этих интервалах катастрофа. Тогда  $(1 - \Psi_0(S))$  — вероятность того, что интервал  $\Psi_0$  «плохой»;  $\Psi_1(S)$  — вероятность того, что интервал  $\Psi_1$  «хороший»;  $g(S) = S + \alpha_0 + \alpha_1 - \alpha_0 \Psi_0(S)$  — параметр простейшего суммарного потока катастроф, разрушающих срывов и «плохих» неразрушающих срывов. Теперь с помощью несложных рассуждений получаем следующее уравнение, определяющее функцию  $\eta_l(B, x, S)$ :

$$\eta_l(B, x, S) = \exp \{ (x - B) g(S) / k \} + [1 - \exp \{ (x - B) g(S) / k \}] \times \\ \times (\alpha_1 / g(S)) \psi_1(S) \eta_l(B, 0, S). \quad (1)$$

Действительно, для того чтобы за время  $\eta_1(B, x)$  достижения заданного уровня катастрофы не наступали (вероятность чего равна  $\eta_1(B, x, S)$ ), необходимо и достаточно, чтобы:

1) либо за время достижения планируемого результата  $\eta_1(B, x)$  не произошло ни одного события следующего суммарного потока: потока катастроф и потока разрушающих срывов (для этого необходимо и достаточно, чтобы на промежутке длительности  $B/k$  «чистого» тренировочного времени не наступило ни одного события простейшего суммарного потока с интенсивностью  $g(S)$  — вероятность чего равна первому слагаемому в правой части (1)), при этом наличие коэффициента  $k$  учитывается переходом к новому масштабу измерения времени;

2) либо за время выполнения спортсменом тренировочной программы  $\eta_1(B, x)$  наступало хотя бы одно событие указанного суммарного потока с интенсивностью  $g(S)$  — вероятность чего равна  $1 - \exp\{(x - B)g(S)/k\}$ , причем первым таким событием был разрушающий отказ системы (вероятность  $\alpha_1 g(S)$  и за интервал плюс новая реализация достижения заданного результата: самого начала тренировочного этапа  $\eta_1(B, 0)$  никакие катастрофы не наступали (вероятность  $\psi_1(S) \eta_1(B, 0, S)$ ).

Применяя формулу полной вероятности, получаем (1). Поскольку на число  $S$  мы не накладывали никаких ограничений, кроме  $S > 0$ , то равенство (1) справедливо для всех  $S$ . Используя принцип аналитического продолжения, получаем, что это равенство справедливо для любого  $S$  из области  $\text{Re } S > 0$ .

Из соотношения (1) уже нетрудно найти  $\eta_1(B, x, S)$ . Предварительно положив  $x = 0$  в (1), определим

$$\eta_1(B, 0, S) = g(S) \times \exp\{-Bg(S)/k\} \times [g(S) - \alpha_1 \psi_1(S) (1 - \exp\{-Bg(S)/k\})]^{-1}.$$

Подставляя это выражение в (1), находим  $\eta_1(B, x, S)$ :

$$\eta_1(B, x, S) = \{g(S) \exp\{(x - B)g(S)/k\} - \alpha_1 \psi_1(S) [\exp\{(x - B)g(S)/k\} - \exp\{-Bg(S)/k\}] \times \{g(S) - \alpha_1 \psi_2(S) [1 - \exp\{-Bg(S)/k\}]\}^{-1}. \quad (2)$$

Для первых моментов, включая случай  $x = 0$ , получаем:

$$\bar{\eta}_1(B, x) = (1 + \alpha_0 \bar{\psi}_0 + \alpha_1 \bar{\psi}_1) (e^{\alpha_1 B/k} - e^{\alpha_1 x/k}) \alpha_1^{-1}. \quad (3)$$

Для модели II, учитывающей наличие общеподготовительного периода, схема получения соотношения для случайной величины  $\eta_{II}(B)$ , определяющей время достижения процессом роста спортивного показателя  $\Omega k(t)$  уровня  $B$ , аналогична приведенной в модели I. Соотношения для первых моментов имеют вид

$$\bar{\eta}_{00} = (1 + \alpha_0 \bar{\psi}_0 + \alpha_1 \bar{\psi}_1) (1 - \eta_0(\alpha_1)) / \alpha_1 \eta_0(\alpha_1);$$

$$\bar{\eta}_{II}(B) = \bar{\eta}_{00} e^{\alpha_1 B/k} + \alpha_1^{-1} \times (1 + \alpha_0 \bar{\psi}_0 + \alpha_1 \bar{\psi}_1) (e^{\alpha_1 B/k} - 1), \quad (4)$$

где  $\eta_0(\alpha_1)$  — вероятность того, что за подготовительный период  $\eta_0$  не произойдет ни одного разрушающего срыва.

4. С практической точки зрения может оказаться полезным и необходимым уметь оценивать спортивный результат к моменту  $u$  времени тренировочного периода (как и выше, имеется в виду тренировочное время спортсмена). Пусть  $\beta(u)$  — случайная величина, определяющая спортивный результат к моменту  $u$ . Другими словами,  $\beta(u)$  — уровень, достигнутый процессом  $\Omega k(t)$  в момент  $u$ .

Случайная величина  $\beta(u)/k$  имеет показательное распределение, урезанное моментом  $u$ :

$$\begin{aligned} p\{\beta(u)/k < x\} &= 1 - \exp\{-\alpha_1 x\}, \quad x < u; \\ p\{\beta(u)/k = u\} &= \exp\{-\alpha_1 u\}. \end{aligned}$$

Поэтому преобразование Лапласа—Стилтьеса  $\beta(u, s)$  для функции распределения случайной величины  $\beta(u)$  равно

$$\beta(u, s) = \exp\{-u(ks + \alpha_1)\} + \alpha_1(ks + \alpha_1)^{-1}[1 - \exp\{u(ks + \alpha_1)\}].$$

Среднее значение  $\bar{\beta}(u)$  достигнутого результата к моменту  $u$  определится равенством

$$\bar{\beta}(u) = k[1 - \exp\{-\alpha_1 u\}]/\alpha_1. \quad (5)$$

5. Наконец, отметим некоторые моменты, связанные с возможным определением коэффициента  $k$ , характеризующего средний «темп» роста спортивного результата. Так, в работе [5] были рассмотрены близкие вопросы, связанные с прогнозом спортивных результатов и разработана зависимость, на основании которой можно определить  $k$  для пловцов на данном возрастном интервале. Это позволяет комплексно учесть воздействие множества постоянных факторов в процессе тренировок, собственно и определяющих средний «темп» роста результата. Кроме того,  $k$  можно оценить известными методами математической статистики.

**Список литературы:** 1. Зацюрский В. М. Кибернетика, математика, спорт.— М.: Физкультура и спорт, 1969.— 100 с. 2. Глухов В. М. Время исполнения и другие надежностные характеристики.— Автоматика и телемеханика, 1972, 10, с. 47—51. 3. Ильин В. П. Психофизиология физического воспитания.— М.: Просвещение, 1983.— 86 с. 4. Климов Г. П. Стохастические системы обслуживания.— М.: Наука, 1966.— 120 с. 5. Гордон С. М., Скворцов Ю. Ф. Спортивные результаты и показатели подготовленности у кролистов-спринтеров различных возрастных групп.— Плавание, 1981, 1, с. 34—39.

Поступила в редколлегию 03.08.84.

## ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ДВУХРЯДНОМ ПЕРИОДИЧЕСКОМ РАЗМЕЩЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

При решении ряда задач распознавания образов, нормализации изображений, планировки технологического оборудования широко используются методы геометрического проектирования [1]. Интересным и плодотворным направлением геометрического проектирования является так называемое регулярное размещение геометрических объектов [2], в частности — периодическое размещение объектов в ортогональных областях плоскости [3].

Несмотря на многочисленные работы по периодическому размещению плоских объектов, остается неисследованным вопрос периодического размещения пространственных тел. В данной статье описан метод оптимального (плотнейшего) двухрядного периодического размещения набора трехмерных многогранных тел сложной конфигурации в компактном параллелепипеде евклидова пространства  $R^3$ .

Осуществим математическую постановку оптимизационной задачи многорядного периодического размещения.

Пусть имеется конечный набор  $\{T_i\}_{i=1..n}$  компактных многогранных тел  $T_i \subset R^3$ . Следуя терминологии работы [4], под  $n$ -рядным периодическим размещением набора  $\{T_i\}_{i=1..n}$  в области  $\Omega \subset R^3$  с ортогональным базисом  $\{e_1, e_2, e_3\}$  будем понимать систему

$$\Lambda = \left\{ \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \sum_{k=1}^3 j_k e_k \mid \forall k j_k \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}, \right. \\ \left. \left( \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \sum_{k=1}^3 j_k e_k \right) \subset \Omega \right\}.$$

для которой выполнены условия взаимного непересечения

$$\forall j_k^1 \neq j_k^2 \text{ int} \left( \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \sum_{k=1}^3 j_k^1 e_k \right) \cap \text{int} \left( \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^3 j_k^2 e_k \right) = \emptyset,$$

$$\forall i_1 \neq i_2 \text{ int} (T_{i_1} + r_{i_1}) \cap \text{int} (T_{i_2} + r_{i_2}) = \emptyset,$$

и условия рядности  $\exists k_1 \in \{1, 2, 3\} \| e_{k_1} \| \geq H_n \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) (e_{k_1})$ ,

где  $\text{int } T$  — внутренняя часть тела  $T$ ; «+» — символ операции трансляции;  $\|\cdot\|$  — евклидова норма пространства  $R^3$ ;  $H_T(e)$  — функция ширины [5] тела  $T$  в направлении вектора  $e$ ;  $r_i \in R^3$  — параметры размещения [2] тел  $T_i$ .

Основная оптимизационная задача многорядного периодического размещения набора  $\{T_i\}_{i=\overline{1,n}}$  трехмерных многогранных тел  $T_i$  в области  $\Omega \subset R^3$  имеет следующую постановку.

Для заданного набора  $\{T_i\}_{i=\overline{1,n}}$  многогранных тел  $T_i \subset R^3$  и области  $\Omega \subset R^3$  необходимо найти параметры размещения  $\{r_1, \dots, r_n\}$ ,  $r_i \in R^3$  и ортогональный базис  $\{e_1, e_2, e_3\}$  многорядного периодического размещения  $\Lambda = \left\{ \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \sum_{k=1}^3 j_k e_k \right\}$  набора  $\{T_i\}_{i=\overline{1,n}}$  тел в области  $\Omega$ , доставляющие максимум коэффициенту заполнения  $k_\Lambda(\{r_i\}_{i=\overline{1,n}}, e_1, e_2, e_3)$ . Иными словами, необходимо решить оптимизационную задачу

$$k_\Lambda(r_1, \dots, r_n, e_1, e_2, e_3) \xrightarrow{\{(r_i)_{i=\overline{1,n}}, e_1, e_2, e_3\} \in D} \max, \quad (1)$$

где

$$D = \{(r_1, \dots, r_n, e_1, e_2, e_3) \in R^{3n+3} \mid \forall j_k \in \{0, \pm 1, \dots\} \\ \left( \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \sum_{k=1}^3 j_k e_k \right) \subset \Omega, \quad \forall j_k^1 \neq j_k^2 \text{ int} \left( \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^3 j_k^1 e_k \right) \cup \text{int} \left( \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) + \sum_{k=1}^3 j_k^2 e_k \right) = \emptyset, \quad \forall i_1 \neq i_2 \text{ int} (T_{i_1} + \\ + r_{i_1}) \cap \text{int} (T_{i_2} + r_{i_2}) = \emptyset, \quad \exists k_1 \in \{1, 2, 3\} \|e_{k_1}\| \geq H \bigcup_{i=1}^n (T_i + r_i) \left( e_{k_1} \right)\} -$$

область допустимых решений оптимизационной задачи (1).

Рассмотрим далее аналитическую модель и метод решения оптимизационной задачи (1) для случая двухрядного размещения набора  $\{T_1, T_2\}$ , многогранных тел пространства  $R^3$  в прямом компактном параллелепипеде  $\Pi = \Omega = [0, l_x] \times [0, l_y] \times [0, l_z]$  заданных размеров  $l_x, l_y, l_z$ .

Итак, задачу двухрядного периодического размещения сформулируем следующим образом.

Необходимо осуществить двухрядное периодическое размещение  $\Lambda = \left\{ (T_1 \cup (T_2 + r)) + \sum_{k=1}^3 j_k e_k \right\}$  набора  $\{T_1, T_2\}$  многогранников  $T_1, T_2 \subset R^3$  трехмерного евклидова пространства  $R^3$  в прямом компактном параллелепипеде  $\Pi = [0, l_x] \times [0, l_y] \times [0, l_z]$  известных размеров  $l_x, l_y, l_z$ , максимизирующее коэффициент заполнения параллелепипеда  $\Pi$  телами набора.

Функцию цели  $k_\Lambda$  этой задачи представим в виде  $k_\Lambda(r, e_1, e_2, e_3) = n_{e_1}(r) n_{e_2}(r) n_{e_3}(r) l_x^{-1} l_y^{-1} l_z^{-1} [V(T_1) + V(T_2)]$ , где  $n_{e_1}, n_{e_2},$

$n_{e_i}$  — соответственно количество периодов размещения по направлению векторов  $e_1, e_2, e_3$ ;  $V(T)$  — объем тела  $T$ . При этом

$$n_{e_1}(r) = [l_x H_{T_1 \cup T_2(r)}^{-1}(e_1)] = [l_x (\max(\bar{x}^1, \bar{x}^2 + x) - \min(\underline{x}^1, \underline{x}^2 + x))^{-1}] = [l_x (k_x^1 x + k_x^2)^{-1}],$$

$$n_{e_2}(r) = [(l_y - H_{T_1 \cup T_2(r)}(e_2)) (f_{T_1 \cup T_2(r)}^{-1}(e_2)) + 1] = [(l_y - (\max(\bar{y}^1, \bar{y}^2 + y) - \min(\underline{y}^1, \underline{y}^2 + y))) (\max^{-1} \{ \max(f_{T_1}(e_2),$$

$$f_{T_2}(e_2), \max(f_{T_1, T_2(r)}(e_2), f_{T_2(r), T_1}(e_2)) \}) + 1] =$$

$$= [(l_y - k_y^1 y - k_y^2) (s_x x + s_y y + s_z z + s_0)^{-1}],$$

$$n_{e_3}(r) = [l_z H_{T_1 \cup T_2(r)}^{-1}(e_3)] = [l_z (\max(\bar{z}^1, \bar{z}^2 + z) -$$

$$- \min(\underline{z}^1, \underline{z}^2 + z))^{-1}] = [l_z (k_z^1 z + k_z^2)^{-1}],$$

где  $r = (x, y, z)$ ,  $[\cdot]$  — целая часть выражения в квадратных скобках;  $\bar{x}^i = \max Pr_{e_i} T_i$ ,  $\underline{x}^i = \min Pr_{e_i} T_i$ ,  $\bar{y}^i = \max Pr_{e_i} T_i$ ,  $\underline{y}^i = \min Pr_{e_i} T_i$ ,  $\bar{z}^i = \max Pr_{e_i} T_i$ ,  $\underline{z}^i = \min Pr_{e_i} T_i$ ,  $i = 1, 2$ ;  $Pr_{e_i}$  — ортопроектор на подпространство  $\{e_i\}$ , порожденное базисным вектором  $e_i$ ;  $f_{T_1, T_2}(e) = \min_{\lambda > 0} \{ \lambda | \text{int } T_1 \cap \text{int } (T_2 + \lambda \|e\|^{-1} e) = \emptyset \}$  — функция плотного размещения [2] тела  $T_2$  относительно  $T_1$ ,  $f_{T_1}(e) = f_{T_1, T_1}(e)$ . Коэффициенты  $(k_x^1, k_x^2)$ ,  $(k_y^1, k_y^2)$ ,  $(k_z^1, k_z^2)$ ,  $(s_x, s_y, s_z, s_0)$  определяются формулами

$$(k_p^1, k_p^2) = \begin{cases} (-1, \bar{p}^1 - \underline{p}^2), & p \leq \min(\bar{p}^1 - \bar{p}^2, \underline{p}^1 - \underline{p}^2), \\ (0, \max(\bar{p}^2 - \underline{p}^2, \bar{p}^1 - \underline{p}^1), \min(\bar{p}^1 - \bar{p}^2, \underline{p}^1 - \underline{p}^2)), & \\ \underline{p}^1 - \underline{p}^2 < p < \max(\bar{p}^1 - \bar{p}^2, \underline{p}^1 - \underline{p}^2), & \\ (1, \bar{p}^2 - \underline{p}^1), & p \geq \max(\bar{p}^1 - \bar{p}^2, \underline{p}^1 - \underline{p}^2), \end{cases} \quad (2)$$

$$p \in \{x, y, z\},$$

$$(s_x, s_y, s_z, s_0) = \begin{cases} (0, 0, 0, \max(f_{T_1}(e_2), f_{T_2}(e_2))), & \max\{f_{T_1}(e_2), f_{T_2}(e_2)\} \geq \max(f_{T_1, T_2(r)}(e_2), f_{T_2(r), T_1}(e_2)), \end{cases} \quad (3a)$$

$$\begin{cases} (-a/b, -1, -c/b, -d/b), & f_{T_1, T_2(r)}(e_2) \geq f_{T_2(r), T_1}(e_2), \\ \max\{f_{T_1}(e_2), f_{T_2}(e_2)\} \end{cases} \quad (3б)$$

$$\begin{cases} (a/b, c/b, d/b), & f_{T_2(r), T_1}(e_2) \geq f_{T_1, T_2(r)}(e_2), \\ \max\{f_{T_1}(e_2), f_{T_2}(e_2)\}. \end{cases} \quad (3в)$$

Здесь  $T(r) = T + r$ ,  $\{ax + by + cz + d = 0\}$  — уравнение произвольной грани тела  $M_1 = T_1 \oplus T_2^-$  или тела  $M_1^- = \{\tau | -\tau \in M_1\}$  — центрального отражения относительно нуля  $R^3$  тела  $M_1$ ; « $\oplus$ » —

символ операции сложения Минковского [5],  $T_1 \oplus T_2 = \{\tau_1 + \tau_2 \mid \tau_1 \in T_1, \tau_2 \in T_2\}$ .

Учитывая приведенные выше формулы, запишем аналитическую модель рассматриваемой оптимизационной задачи:

$$[l_x(k_x^1 x + k_x^2)^{-1}][l_z(k_z^1 z + k_z^2)^{-1}][(l_y - k_y^1 y - k_y^2)(s_x x + s_y y + s_z z + s_0)^{-1} + 1] \xrightarrow{(x,y,z) \in \gamma} \max, \quad (4)$$

где  $\gamma = \text{Fr } M_1$ , «Fr» — топологическая граница тела.

Сделаем краткий анализ задачи (4).

1. Функция цели в задаче (4) разрывная, кусочно-постоянная. Число областей кусочного постоянства этой функции определяется интервалами изменения выражений в квадратных скобках формулы (4).

2. Задача (4) многоэкстремальная, количество ее локальных экстремумов не менее числа плоскостей разрывности выражений  $[l_{x...}]$ ,  $[(l_{y...})]$ ,  $[l_{z...}]$  соотношения (4).

3. Область допустимых решений  $\gamma$  оптимизационной задачи можно разбить на максимальные по включению связанные области  $D_i$  постоянства функции цели. Границы указанных областей определяются условием

$$\begin{aligned} \bigcup_i \text{Fr } D_i = \{r \mid (r \in \gamma) \vee (l_x(k_x^1 x + k_x^2)^{-1} = i, i \in \{1, 2, \dots, \\ [l_x d^{-1}]\}) \vee (l_z(k_z^1 z + k_z^2) = j, j \in \{1, 2, \dots, [l_z d^{-1}]\}) \vee ((l_y - \\ - k_y^1 y - k_y^2)(s_x x + s_y y + s_z z + s_0)^{-1} = k, k \in \{1, 2, \dots, [(l_y - \\ - d) \rho^{-1}(0, \gamma)]\}), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $d = \min_{e,i} H_{T_i}(e)$ ; « $\vee$ » — символ логической дизъюнкции;  $\rho(\cdot)$  — евклидова метрика пространства  $R^3$ .

Приведенный анализ задачи (4) позволяет сделать важный вывод о достижимости глобального максимума кусочно-постоянной функции цели оптимизационной задачи (4) на множестве крайних точек многогранных множеств  $D_i$ . Поэтому решение задачи (4) сводится к нахождению множества  $\bigcup_i \text{Fr } D_i$  крайних точек областей постоянства  $D_i \subset \gamma$  функции цели в соответствии с соотношением (5) и решению дискретной оптимизационной задачи (4) на найденном множестве.

Алгоритм решения задачи (4).

Шаг 1. Вычисление множеств  $M_1 = (T_1 \oplus T_2^-)$ ,  $M_1^- = (T_2 \oplus T_1^-)$ ,

$$M = (T_1 \oplus T_2^-) \cup (T_2 \oplus T_1^-), \quad \gamma = \text{Fr } M_1.$$

Шаг 2. Определение пересечения оси  $OY$  с множеством

$$M : A(0, \max\{f_T(e_2), f_{T_1}(e_2)\}, 0).$$

Шаг 3. Формирование систем коэффициентов  $(k_x^1, k_x^2), (k_y^1, k_y^2), (k_z^1, k_z^2), (s_x, s_y, s_z, s_0)$  в соответствии с формулами (2), (3).

Шаг 4. Определение плоскостей разрывности выражений

$$[l_x (k_x^1 x + k_x^2)^{-1}], [l_z (k_z^1 z + k_z^2)^{-1}].$$

Для этого проводится вычисление значений

$$x = (l_x i^{-1} - k_x^2) (k_x^1)^{-1}, \quad z = (l_z j^{-1} - k_z^2) (k_z^1)^{-1} \quad (6)$$

для всех  $i \in \{1, 2, \dots, [l_x d^{-1}]\}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, [l_z d^{-1}]\}$ ,  $(k_x^1, k_x^2), (k_z^1, k_z^2), k_x^1 \neq 0, k_z^1 \neq 0$ . Для получения наборов  $x$  и  $z$  дополнительно осуществляется проверка принадлежности интервалам positivity коэффициентов  $(k_x^1, k_x^2), (k_z^1, k_z^2)$  в соответствии с [2].

Шаг 5. Нахождение плоскостей разрывности выражения

$$[(l_y - k_y^1 y - k_y^2) (s_x x + s_y y + s_z z + s_0)^{-1} + 1].$$

При этом в соответствии с (5) рассматривается уравнение

$$(l_y - k_y^1 y - k_y^2) (s_x x + s_y y + s_z z + s_0)^{-1} = k$$

для всех систем коэффициентов  $(k_y^1, k_y^2), (s_x, s_y, s_z, s_0)$  и  $k \in \{1, 2, \dots, [(l_y - d) \rho^{-1}(0, \gamma)]\}$ .

Отсюда уравнение плоскости разрывности выражения  $[(l_y - \dots)]$  примет вид

$$ks_x x + (ks_y + k_y^1) y + ks_z z + ks_0 - l_y = 0. \quad (7)$$

Шаг 6. Определение точек пересечения вида: грань  $\gamma$  — плоскость разрывности — плоскость разрывности, ребро  $\gamma$  — плоскость разрывности. В качестве плоскостей разрывности выбираются всевозможные плоскости (6), (7).

Шаг 7. Объединение множества  $\tilde{\gamma}$  с полученным на шаге 6 набором точек. Решение задачи (4) на полученном конечном множестве. Останов.

Описанные метод и алгоритм двухрядного периодического размещения многогранных тел в компактном параллелепипеде программно реализованы на языке ФОРТРАН для ЭВМ БЭСМ-6 и апробированы при автоматизированной планировке технологического оборудования основных цехов и участков приборостроительных предприятий.

**Список литературы:** 1. *Stoyan Yu. G. Mathematical methods for geometric design.* — In: Advances in CAD/CAM: Proc. of PROLAMAT 82 (Leningrad, USSR, 16-18 May 1982), Amsterdam — N. Y. — Oxford, 1983, p. 67—86. 2. *Стоян Ю. Г., Размещение геометрических объектов.* — К.: Наук. думка, 1975. — 240 с. 3. *Стоян Ю. Г., Панасенко А. А. Периодическое размещение геометрических объектов.* — К.: Наук. думка, 1978. — 176 с. 4. *Роджерс К. Укладки и покрытия.* — М.: Мир, 1968. — 134 с. 5. *Хаддигер Г. Лекции об объеме, площади поверхности и изопериметрии.* — М.: Наука, 1966. — 416 с.

Поступила в редакцию 30.11.84.

А. Г. ЧЕРНЯВСКИЙ, канд. физ.-мат. наук

### МЕТОД АНАЛИЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С НЕБЕЛЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ ПАРАМЕТРОВ

1. При решении ряда задач статистической радиотехники и радиофизики возникает необходимость определения вероятностных характеристик динамических систем с небелыми флуктуациями параметров [1—4]. В том случае, когда флуктуирующие параметры являются марковскими процессами, известны различные подходы к решению указанных задач [3—6]. В настоящей работе предложен метод анализа линейных систем, параметры которых не обязательно являются марковскими процессами.

Будем предполагать, что поведение исходной динамической системы описывается системой линейных разностных уравнений

$$x(n+1) = A(n)x(n) + \sum_{k=1}^M z_k(n) B_k(n)x(n) + f(n), \quad x(0) = x^*,$$

$$n = 0, 1, \dots, \quad (1)$$

где  $x(n)$  — элемент  $N$ -мерного фазового пространства системы, характеризующий ее состояние в момент времени  $t_n = n\tau$ ;  $\tau$  — шаг дискретизации;  $A(n)$ ,  $B_k(n)$  — известные неслучайные квадратные матрицы размера  $N$ ;  $f(n)$  — правая часть с известными средними  $\langle f(n) \rangle$ ,  $z_k(n)$  — гауссовская случайная скалярная последовательность с нулевыми средними и известными вторыми моментами  $\omega_{mn}(p, q) = \langle z_m(p)z_n(q) \rangle$ ,  $1 \leq m, n \leq M$ ;  $p, q = 0, 1, \dots$ . Условия стационарности или марковости на коэффициенты  $z_k(n)$  заранее не накладываются. Будем предполагать известным натуральное число  $r$ , характеризующее время корреляции коэффициентов  $z_k(n)$ :  $\omega_{mn}(p, q) = 0$  при  $|p - q| > r$ .

Цель работы — построение алгоритма последовательного определения значения моментов  $x_0(n) = \langle x(n) \rangle$ ,  $n = 1, 2, \dots$ . Для этого ниже вводятся дополнительные неизвестные величины, зависящие от  $n$ , которые вместе с неизвестными  $x_0(n)$  образуют замкнутую систему разностных уравнений. Эта система позволяет последовательно определить значения моментов  $x_0(n)$  для  $n = 1, 2, \dots$ .

2. Дополнительные неизвестные вводятся по следующему правилу. Для любых натуральных чисел  $p, q, j_1, \dots, j_p, k_1, \dots, k_p$ , таких, что  $j_1 = 1 < j_2 < \dots < j_p \leq q$ ,  $1 \leq k_1, \dots, k_p \leq M$ , введем дополнительную неизвестную  $x_{q, j_1, \dots, j_p, k_1, \dots, k_p}(n)$ , значения которой определяются при  $n \geq 1$  формулой

$$x_{q,j_1,\dots,j_p,k_1,\dots,k_p}(n) = \sum_{l_1,\dots,l_p=1}^M \sum_{n_1,\dots,n_p=0}^n \omega_{k_1 l_1}(n+q-j_1, n_1) \times \dots \times \\ \times \omega_{k_p l_p}(n+q-j_p, n_p) \left\langle \frac{\partial^p x(n)}{\partial z_{l_1}(n_1) \dots \partial z_{l_p}(n_p)} \right\rangle. \quad (2)$$

Если же  $n = 0$ , то положим

$$x_{q,j_1,\dots,j_p,k_1,\dots,k_p}(0) = 0. \quad (3)$$

Функциональная зависимость  $x(n)$  от коэффициентов  $z_l(m)$ , на которой основана формула (2), имеет место только при  $m < n$ . Поэтому при  $q > r$   $x_{q,j_1,\dots,j_p,k_1,\dots,k_p}(n) = 0$ ,  $n = 0, 1, \dots$ . Отсюда следует, что всего имеется  $(M+1)^r$  переменных  $x_{q,j_1,\dots,j_p,k_1,\dots,k_p}$ , которые не равны тождественно нулю при  $n = 0, 1, \dots$ .

Для построения системы разностных уравнений, которым удовлетворяют введенные неизвестные, воспользуемся соотношениями (1), (2) и формулой Фуруцу — Новикова [4]. Получим

$$x_0(n+1) = A(n)x_0(n) + \sum_{k=1}^M B_k(n) \sum_{l=1}^M \sum_{n_i=0}^n \omega_{kl}(n, n_1) \left\langle \frac{\partial x(n)}{\partial z_l(n_1)} \right\rangle + \\ + \langle f(n) \rangle = A(n)x_0(n) + \sum_{k=1}^M B_k(n) x_{1,1,k}(n) + \langle f(n) \rangle. \quad (4)$$

Для дополнительных переменных, рассуждая аналогично, получим после преобразований с использованием (2)

$$x_{q,j_1,\dots,j_p,k_1,\dots,k_p}(n+1) = A(n)x_{q+1,j_1,\dots,j_p,k_1,\dots,k_p}(n) + \\ \sum_{k=1}^M B_k(n) x_{q+1,j_1,\dots,j_p,q+1,k_1,\dots,k_p,k_p}(n) + \sum_{k=1}^M B_k(n) [\omega_{k,k}(n+q+1-j_1, n) \\ n) x_{q,d_1,\dots,d_{p-1},k_1,\dots,k_p}(n) + \omega_{k,k}(n+q+1-j_2, \\ x_{q+1,j_1,j_2,\dots,j_p,k_1,k_2,\dots,k_p}(n) + \dots + \omega_{k_p,k}(n+q+1-j_p, n) \\ x_{q+1,j_1,\dots,j_{p-1},k_1,\dots,k_{p-1}}(n)]. \quad (5)$$

В правой части (5) использованы следующие обозначения: если  $p > 1$ , то  $q_1 = q + 2 - j_2$ ,  $d_i = j_{i+1} - j_2 + 1$ ,  $1 \leq i \leq p - 1$ ; если же  $p = 1$ , то следует положить

$$x_{q,d_1,\dots,d_{p-1},k_1,\dots,k_p}(n) = x_0(n).$$

Если в равенствах (4), (5) учесть, что переменные при  $q > r$  тождественно равны нулю для  $n = 0, 1, 2, \dots$ , то получится замкнутая система из  $(M+1)^r$  разностных уравнений для переменных  $x_{q,j_1,\dots,j_p,k_1,\dots,k_p}$  при  $q \leq r$ . Эти уравнения позволяют, исходя из начальных условий (3) и условия  $x_0(0) = \langle x^* \rangle$ , последовательно определить моменты  $x_0(n) = \langle x(n) \rangle$  решения уравнений (1) при всех  $n = 1, 2, \dots$ .

Рассмотрим, например, случай, когда  $r = 2$ ,  $M = 1$ . Тогда, опуская излишние в этом случае индексы  $k$ ,  $k_i$ ,  $l_i$ , получим следующую замкнутую систему разностных уравнений:

$$x_0(n+1) = A(n)x_0(n) + B(n)x_{1,1}(n) + \langle f(n) \rangle,$$

$$x_{1,1}(n+1) = A(n)x_{2,1}(n) + B(n)x_{2,1,2}(n) + \omega(n+1, n)B(n)x_0(n),$$

$$x_{2,1}(n+1) = \omega(n+2, n)B(n)x_0(n),$$

$$x_{2,1,2}(n+1) = \omega(n+2, n)B(n)x_{2,1}(n),$$

которые должны решаться при начальных условиях

$$x_0(0) = \langle x^* \rangle, \quad x_{1,1}(0) = x_{2,1}(0) = x_{2,1,2}(0) = 0.$$

**Список литературы:** 1. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника.— М.: Радио и связь, 1982.— 624 с. 2. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику.— М.: Наука, 1966.— 404 с. 3. Малахов А. Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовских процессов и их преобразований.— М.: Сов. радио, 1978.— 376 с. 4. Кляцкин В. И. Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах.— М.: Наука, 1980.— 336 с. 5. Кузовлев Ю. Е., Бочков Г. Н. Операторные методы анализа стохастических негауссовских процессов и систем.— Изв. вузов СССР: Радиофизика, 1977, 20, № 10, с. 1505—1515. 6. Малахов А. Н., Музычук О. В., Позументов И. Е. О дифференциальном описании стохастических линейных систем с небольшими флуктуациями параметров.— Изв. вузов СССР. Радиофизика, 1978, 21, № 9, с. 1279—1289.

Поступила в редколлегию 03.08.84.

УДК 681.518

А. П. ТАРАСЕНКО

### КВАЗИОПТИМАЛЬНАЯ ПРОЦЕДУРА НОРМАЛИЗАЦИИ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Обработке последовательностей изображений объекта, полученных в моменты времени  $t_n$  ( $n = 1, 2, \dots, \tau$ ), уделяется много внимания [1—3]. Отмечается, что важным этапом обработки является процедура нормализации плоских изображений. Она направлена на измерение параметров и компенсацию геометрических преобразований. Нормализаторы, предложенные в работе [2], обрабатывают изображения, поступающие с меньшей частотой, чем изображения, рассмотренные в работе [3]. Следствием этого является сокращение времени, отведенного на обработку соседних кадров из последовательности изображений. Однако отсутствие критерия близости между нормализованным и нормализуемым изображениями приводит к ошибкам определения параметров нормализации, особенно при наличии шума. Хотя в работе [3] и выбран критерий близости между

рассматриваемыми изображениями (в виде МНК), все же требуется большая частота следования кадров, чем предложенная в работе [2]. Предлагается компромиссный вариант между методами, рассмотренными в работах [2, 3].

Так, чтобы уменьшить частоту следования кадров, предлагается оценивать параметры преобразований, используя разложение функции яркости  $B(x, y)$  в окрестности тождественного преобразования с сохранением вторых частных производных. В качестве критерия близости можно использовать корреляционный интеграл  $\Phi(g) = \iint_D B(x, y) B_0(g(x, y)) dx dy$ .

Пусть известно, что в момент времени  $t_n$  полученное изображение представлено двумерной функцией яркости  $B_n(x, y)$ , заданной в некоторой области  $D \in R^2$ , и выполняются следующие условия

$$\forall t_n \in [0, T] \iint_D B_n^2(x, y) dx dy < K_1 K = \text{const},$$

$$B_n(x, y) \in C^{(2)}(D); B_n(x, y) = B_{n-1}(g_n(x, y)),$$

где  $g_n \in G_{\text{эф}}$  — элемент взаимно-однозначного преобразования (например, аффинного), связывающий изображения, полученные в момент  $t_n$  и  $t_{n-1}$ . Элемент  $g_n$  принадлежит эффективной подгруппе  $G_{\text{эф}}$  группы преобразований  $G$ . Требуется определить параметры преобразования  $g_n$  в целях их дальнейшей компенсации, которые максимизировали бы корреляционный интеграл  $\Phi_n = \Phi(g_n)$ :

$$\Phi(g_n) = \iint_D B_n(x, y) B_{n-1}(g_n(x, y)) dx dy; \quad (1)$$

$$g_n(x, y) = \begin{cases} U_n = \varphi(a_1, a_2, \dots, a_k, x, y), \\ V_n = \Psi(a_{k+1}, a_{k+2}, \dots, a_{k+e}, x, y). \end{cases}$$

Предположим, что

$$B_{n-1}(g_n(x, y)) = B_{n-1}(e(x, y)) + \sum_{i=1}^{k+1} (a_i^{(n)} - e_i) \frac{dB_{n-1}(U_n, V_n)}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^{k+e} (a_i^{(n)} - e_i) (a_j^{(n)} - e_j) \frac{d^2 B_{n-1}(U_n, V_n)}{da_i^{(n)} da_j^{(n)}} \Big|_{g_n=e} + \dots \quad (2)$$

Здесь  $e_i, i = \overline{1, k+e}$  — параметры тождественного преобразования  $e \in G$ . Используя (2), перепишем выражение (1):

$$\Phi_n = \int_D B_n(x, y) B_{n-1}(x, y) ds + \sum_{i=1}^{k+e} b_i \int_D B_n(x, y) N_i(x, y) ds + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^{k+e} b_i^{(n)} b_j^{(n)} \int_D B_n(x, y) M_{ij}(x, y) ds,$$

где

$$b_i^{(n)} = a_i^{(n)} - e_i; ds = dx dy;$$

$$N_i(x, y) = \frac{dB_{n-1}(U_n, V_n)}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} =$$

$$= \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} \cdot \frac{dU_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} \cdot \frac{dV_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e};$$

$$M_{ij}(x, y) = \frac{d^2 B_{n-1}(U_n, V_n)}{da_i^{(n)} da_j^{(n)}} \Big|_{g_n=e} =$$

$$= \left[ \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} \cdot \frac{dU_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} \frac{d}{dx} \left( \frac{dU_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} \right) + \right.$$

$$+ \left. \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} \frac{dV_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} \frac{d}{dx} \left( \frac{dV_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} \right) \right] \frac{dU_n}{da_j^{(n)}} \Big|_{g_n=e} +$$

$$+ \left[ \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} \frac{dU_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} \frac{d}{dy} \left( \frac{dU_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} \right) + \right.$$

$$+ \left. \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} \frac{dV_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} \frac{d}{dy} \left( \frac{dV_n}{da_i^{(n)}} \Big|_{g_n=e} \right) \right] \frac{dV_n}{da_j^{(n)}} \Big|_{g_n=e}.$$

Чтобы максимизировать (1), необходимо решить систему уравнений

$$\frac{d\Phi_n}{db_p^{(n)}} = \int_D B_n(x, y) N_p(x, y) ds + \sum_{j=1}^{k+l} b_j^{(n)} \int_D B_n(x, y) M_{pj}(x, y) ds = 0 \quad (3)$$

где  $p = 1, \overline{k+l}$ .

Элементами матрицы Гессе  $C$  являются функционалы  $c_{ij} = \int_D B_n(x, y) M_{ij}(x, y) ds$ .

Потребуем выполнения достаточного условия максимум (1), т. е. чтобы определить матрицы  $C$  был меньше нуля. Следовательно, система линейных уравнений (3) имеет единственное решение, при котором достигается максимум (1).

На примере аффинной группы преобразований рассмотрим предложенную процедуру нормализации:

$$g_n(x, y) = \begin{cases} U_n = a_1^{(n)}x + a_2^{(n)}y + a_3^{(n)}; \\ V_n = a_4^{(n)}x + a_5^{(n)}y + a_6^{(n)}. \end{cases}$$

Здесь  $(U_n, V_n) \in D$ .

Предположим, что  $\forall n \geq 0$  матрицы  $A^{(n)} = \begin{pmatrix} a_1^{(n)} & a_2^{(n)} \\ a_4^{(n)} & a_5^{(n)} \end{pmatrix}$  — невырожденные. Тогда

$$m_{11} = \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} x + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} \right) x;$$

$$\begin{aligned}
m_{12} &= \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} x + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} \right) y; \\
m_{13} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} x + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx}; \\
m_{14} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} x^2; \quad m_{15} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} xy; \\
m_{16} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} x; \quad m_{21} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} xy; \quad m_{22} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2}; \\
m_{23} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} y; \quad m_{24} = \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} y + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} \right) x; \\
m_{25} &= \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} y + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} \right) y; \\
m_{26} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} y + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx}; \\
m_{31} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} x; \quad m_{32} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2} y; \\
m_{33} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx^2}; \quad m_{34} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} x; \quad m_{35} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} y; \\
m_{36} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy}; \quad m_{41} = \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} x + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} \right) x; \\
m_{42} &= \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} x + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} \right) y; \\
m_{43} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} x + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy}; \\
m_{44} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} x^2; \quad m_{45} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} xy; \quad m_{46} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} x; \\
m_{51} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} xy; \quad m_{52} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} y^2; \quad m_{53} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} y; \\
m_{54} &= \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} y + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} \right) x; \\
m_{55} &= \left( \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} y + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} \right) y; \\
m_{56} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} y + \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy}; \quad m_{61} = \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m_{62} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy} y; & m_{63} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dx dy}; & m_{64} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} x; \\
m_{55} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2} y; & m_{66} &= \frac{d^2 B_{n-1}(x, y)}{dy^2}; & n_1 &= \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} x; \\
n_2 &= \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx} y; & n_3 &= \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dx}; & n_4 &= \frac{dB_{n-1}(y, y)}{dy} x; \\
n_5 &= \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} y; & n_6 &= \frac{dB_{n-1}(x, y)}{dy} k=3, & l &= 3.
\end{aligned}$$

Приведенные выражения в явном виде позволяют непосредственно решить систему линейных уравнений (3).

**Список литературы:** 1. *Обработка изображений при помощи ЦВМ/* Под ред. Эндрюса. — М.: Мир, 1973. — 160 с. 2. *Sune R. On optimum algorithms for imaging.* — EUSIPCO—80—Sig. Proc. Theory. Applic., Lausanne, 1980, p. 723 — 726. 3. *Путятин Е. П., Генкин А. А. Нормализация изображений, подвергнутых аффинной группе преобразований.* — Программа в РФАП, № 5926. *Поступила в редколлегию 22.11.84.*

УДК 510.62

А. В. ДЖЕЛАЛИ, А. В. ЯКУНИН, В. И. БОЦМАН

### МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА, ОСНОВАННАЯ НА ВЫДЕЛЕНИИ ГРАНИЦЕОБРАЗУЮЩИХ ТОЧЕК

В большинстве задач технической диагностики с обучением необходимая для построения байесовской поверхности решений информация отсутствует. В этих случаях применяются различные непараметрические методы, позволяющие с той или иной степенью точности аппроксимировать байесовскую границу. К числу наиболее эффективных из них принадлежит метод ближайшего соседа (БС). Решающее правило БС очень просто и позволяет производить классификацию в случаях, когда классы имеют сложную структуру. Другим чрезвычайно важным качеством метода БС является наличие теоретической оценки вероятности ошибочной классификации [1]:

$$P_B \leq P_{BC} \leq P_B \left( 2 - \frac{M}{M-1} P_B \right),$$

где  $P_B$  — вероятность ошибки байесовского классификатора;  $P_{BC}$  — вероятность ошибочной классификации по методу БС;  $M$  — количество классов.

Основным недостатком метода БС при больших объемах обучающей выборки (ОВ) и классифицируемой совокупности

является малое быстроедействие. Известен ряд модификаций метода БС, предназначенных для устранения указанного недостатка [2—8]. Общим недостатком методов [2, 3, 5] является искажение границы решений метода БС, что делает оценку (1) несостоятельной. Сокращение объема вычислений, достигаемое применением сложной распознающей системы [6], принципиально не поддается оценке и существенно зависит от конфигурации границы решений. Поэтому в некоторых случаях это сокращение пренебрежимо мало.

Наконец, алгоритмы [7, 8], приводя к существенному сокращению объема вычислений на этапе распознавания, требуют значительных вычислений на подготовительном этапе и занимают большой объем машинной памяти.

Предлагаемая в данной работе модификация метода БС, не внося дополнительной ошибки по сравнению со стандартным методом БС, позволяет максимально сократить объем вычислений на этапе отбора. Вместе с тем снижен и объем предварительных вычислений по сравнению с известными модификациями. Существенно сокращен и используемый объем машинной памяти. Не ограничивая общности, изложим суть алгоритма для случая разделения на два класса, образующих односвязные области в двумерном пространстве признаков.

Пусть нам необходимо произвести классификацию некоторой совокупности точек пространства признаков, основываясь на обучающей выборке ( $OB$ ), о каждой точке которой известно, к какому классу  $\omega_1$  или  $\omega_2$  она принадлежит.

Предлагаемая модификация опирается на следующие утверждения.

1. Граница решений метода БС представляет собой кусочно-линейную функцию.

2. Каждый отрезок границы, кроме его концов, образован двумя и только двумя точками разных классов. Назовем их парой соответствующих границеобразующих точек.

3. Если точка  $A$  класса  $\omega_1$  является ближайшей для какой-либо точки  $B$  класса  $\omega_2$ , то она — границеобразующая.

4. Если точка  $A$  класса  $\omega_1$  и точка  $B$  класса  $\omega_2$  — взаимно ближайшие, то точка  $C$ , являющаяся серединой отрезка  $AB$ , принадлежит границе.

5. Пусть  $A$  и  $B$  — пара соответствующих границеобразующих точек. Возьмем некоторую точку  $D$  из  $OB$ . Если внутри окружности, проходящей через точки  $A$ ,  $B$  и  $D$ , нет точек  $OB$ , лежащих с точкой  $D$  по одну сторону от прямой  $AB$ , то  $D$  — границеобразующая точка.

**Описание основных блоков алгоритма. Блок 1.** Нахождение пары взаимно ближайших точек  $A_1 \in \omega_1$  и  $B_1 \in \omega_2$ .

1. Находим точку  $A_i \in \omega_1$ , ближайшую к произвольной точке  $B_i \in \omega_2$ .

2. Находим точку  $B_{i+1} \in \omega_2$ , ближайшую к точке  $A_i \in \omega_1$  и т. д. до тех пор, пока не окажется, что  $A_{i+1} \equiv A_i$  или  $B_{i+1} \equiv B_i$ .

3. Найденные границеобразующие точки  $A_i \in \omega_1$  и  $B_i \in \omega_2$  одновременно заносим соответственно в ячейки массива «Память»  $A_1, B_1$  и в служебные ячейки  $A, B$ .

**Блок 2.** Нахождение очередной границеобразующей точки.

1. Произвольную точку  $C_i$  заносим в служебную ячейку  $D$ .

2. Просматриваем все точки  $OB$ . Если проверяемая точка лежит по ту же сторону прямой  $AB$ , что и точка  $D$ , то она исключается из дальнейшего рассмотрения. Если исключены все точки  $OB$ , то переходим к блоку 4.

3. Произвольную точку  $C_i$  из оставшихся точек  $OB$  заносим в ячейку  $C$ .

4. Находим точку  $F$ , являющуюся центром окружности, проходящей через точки  $A, B, C$ .

5. Если для произвольной точки  $C_i$  выполняется условие  $C_i F \geq CF$ , то точка  $C_i$  исключается из дальнейшего рассмотрения.

6. Если  $C_i F < CF$ , то точку  $C_i$  заносим в ячейку  $C$  и возвращаемся к п. 4.

7. Если для всех точек выполняется условие п. 5, то  $C$  — границеобразующая точка.

**Блок 3.**

1. Если  $C \in \omega_1$ , то в ячейку  $D$  заносится точка  $A$ , точка  $C$  заносится в ячейку  $A_2$  массива «Память» и в ячейку  $A$ .

2. Если  $C \in \omega_2$ , то в ячейку  $D$  заносится точка  $B$ , точка  $C$  заносится в ячейку  $B_2$  массива «Память» и в ячейку  $B$ .

**Блок 4.**

1. В ячейки  $A$  и  $B$  заносим соответственно точки  $A_1$  и  $B_1$ , а в ячейку  $D$  — точку  $A_2$ .

2. Переходим к п. 2 блока 2.

Подчеркнем, что алгоритм составлен таким образом, что для нахождения очередной границеобразующей точки необходимо обследовать все точки  $OB$  один раз.

В дальнейшем классификация производится только по точкам, записанным в массив «Память». Оценим ожидаемый от применения модифицированного метода ближайшего соседа (МБС) выигрыш во времени. Пусть  $N$  — количество точек обучающей выборки, а  $n$  — количество границеобразующих точек. Тогда

$$t_{\text{МБС}} = (n/N) t_{\text{БС}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{БС}}$  — время классификации по стандартному методу БС.

При больших значениях  $n$  и больших объемах, предъявляемых к распознаванию массивов, описанный алгоритм целесообразно применять в комбинации с модификацией [8].

В этом случае затраты времени

$$t_{\text{МБС}} \leq \frac{7,6 \sqrt[3]{n} + 53}{6N - 1} \cdot t_{\text{БС}}. \quad (3)$$

Например, при  $N = 1000$ ,  $n = 100$ ,  $t_{\text{МБС}} \approx 0,015t_{\text{БС}}$ .

Приведем еще практическую оценку вероятности ошибочной классификации

$$P_{\text{БС}} \approx 1/2 \cdot n/N. \quad (4)$$

Предложенная модификация метода БС реализована на языке «ФОРТРАН — IV».

**Список литературы:** 1. Cover T. M and Hart P. E. Nearestneighbor pattern classification. — IEEE Trans. Inform. Theory., 1967, 1Т-13, p. 21 — 27. 2. Hart P. E. The condensed Nearest Neighbor Rule. — IEEE Trans. Inform. Theory., 1968, 1Т-14, N 3, p. 515. 3. Cover T. M. Estimation by the Nearest Neighbor Rule. — IEEE Trans. Inform. Theory., 1968, 1Т-14, N 5, p. 428. 4. Ritter G. L. e. a. An algorithm for a selective nearest neighbor decision rule. — IEEE Transactions, 1975, 1Т-21, N 6, p. 655—669. 5. Dasarathy B. V. and Sheela B. V. Visiting neighbors — A survey of nearest neighbor pattern classification techniques. — Proc. Int. Conf. on Cybernetics and Society, 1977, p. 630—637. 6. Дасарахти Б. В., Шила Б. В. Построение сложной системы распознавания образов: Теория и методика. — Тр. ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектрон., 1979, 67, N 5, с. 5—11. 7. Clarkson Kenneth L. Fast algorithms for the all nearest neighbor problem. — 24-th Annu. Sump. Found. Comput. Sci., Tuscon., 7-9 Nov. 1983, Silver Spring, Md, 1983, p. 226—232. 8. Радюк И. А., Джелали А. В., Майстренко Л. А. Быстродействующий метод ближайшего соседа. — АСУ и приборы автоматики, 1985, вып. 77, с. 5—8.

Поступила в редколлегию 07.10.85.

---

УДК 519.683

А. В. ТАРАСОВ

### МЕТОД ВЗАИМНО-ОДНОЗНАЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ «КЛЮЧ — АДРЕС»

---

В настоящее время большое внимание уделяется развитию так называемой ассоциативной памяти, размещение и выборка записей в которой определяется не машинным адресом, а содержанием самой записи.

Существуют два основных способа адресации по содержанию [1]. Первый из них базируется на распределении памяти в зависимости от содержания данных и реализуется с помощью программных средств. Второй основывается на применении специальных аппаратных средств, предназначенных для хранения и поиска элементов данных. Рассмотрим один из подходов, реализующих первый из этих способов.

Программные средства, с помощью которых производится адресация по содержанию, в основном основываются на методах хеширования. Эти методы позволяют на основании символов, входящих в имя, вычислить адрес хранения данного имени в

памяти ЭВМ, практически исключая при этом перебор [1, 2].

Если бы размеры памяти были практически неограниченными, то имена располагались бы по адресам, равным их численным значениям. В действительности же отводимое адресное пространство для хранения конкретного набора имен значительно меньше диапазона чисел, в который преобразуются имена, поэтому используются различные способы сжатия области, содержащей численные значения символических имен. При этом часто возникают такие ситуации, называемые коллизиями, когда несколько различных имен получают одинаковые адреса и приходится решать вопрос о выборе методов разрешения коллизий. Однако в последнее время стали разрабатываться методы адресации, называемые «совершенными функциями хеширования» [3, 4], свободные от коллизий. Эти функции позволяют производить однопробный поиск в таблице для нахождения нужного имени, причем если размер таблицы равен количеству хранимых в ней имен, то функция называется «минимальной совершенной функцией хеширования».

Данная работа посвящена разработке минимальной функции адресации для статического набора ключей, позволяющей производить однопробный поиск имен в таблице.

Пусть имеется множество имен  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_p\}$  над алфавитом  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ . Считаем, что имена из  $S$  расположены в лексикографическом порядке. Необходимо закодировать символы из  $A$  таким образом, чтобы применив к кодам символов, входящих в имя  $S_i$ , некоторую простую функцию адресации  $f$ , получить адрес хранения имени —  $ADR_i$  в таблице. Функция должна быть взаимно-однозначна, чтобы обеспечивался однопробный поиск и  $ADR_i \in \{1, 2, \dots, p\}$ . В качестве такой функции адресации выберем аддитивную функцию вида

$$ADR_i = f(S_i) = \sum_{j=1}^{l_i} \alpha_j K(a_{ij}), \quad (1)$$

где  $l_i$  — длина имени  $S_i$  в символах;  $K(a_{ij})$  — код  $j$ -го символа  $i$ -го имени;  $\alpha_j$  — весовой коэффициент позиции ( $\alpha_j \neq \alpha_k$  при  $j \neq k$ ).

Весовые коэффициенты вводятся для того, что если два каких-либо имени могут быть получены друг из друга путем перестановки символов, то их адреса были бы различны. В простейшем случае можно положить  $\alpha_j = j$ .

Для нахождения кодов символов алфавита  $A$  составляем систему  $p$  линейных алгебраических уравнений вида (1), со свободными членами  $ADR_i$  от 1 до  $p$ . Решение этой системы, при условии, что главный определитель не равен нулю, и даст искомые коды.

Использование такого простого метода позволяет получить минимальную совершенную функцию адресации для  $p$  слов,  $p \leq m$ . Если же мощность исходного набора имен больше чем

$m$ , то его можно разбить на части (сегменты) и решив систему уравнений для каждого сегмента отдельно, получить набор кодов для каждого символа. Выбор нужного кода при вычислении адреса имени определяется принадлежностью данного имени к тому или иному сегменту. Это можно легко определить, так как имена упорядочены и границы сегментов известны.

**Пример.** Пусть имеется набор ключевых слов некоторого языка:  $S = \{AND, BEGIN, DO, ELSE, END, FILE, FOR, GOTO, IF, LABEL, NOT, OF, OR, PROCEDURE, PROGRAM, RECORD, THEN, TO, WHILE\}$ . Необходимо закодировать символы, входящие в слова, таким образом чтобы  $f(AND) = 1$ ,  $f(BEGIN) = 2$ , ...  $f(WHILE) = 19$ .

Составим и решим систему линейных уравнений для набора ключевых слов  $S$  с весовыми коэффициентами  $a_j = j$ :

$$K(A) + 2 \cdot K(N) + 3 \cdot K(D) = 1;$$

$$K(B) + 2 \cdot K(E) + 3 \cdot K(G) + 4 \cdot K(I) + 5 \cdot K(N) = 2;$$

.....

$$K(W) + 2 \cdot K(H) + 3 \cdot K(I) + 4 \cdot K(L) + 5 \cdot K(E) = 19.$$

Результат решения представлен в таблице.

Символ	Код символа	Символ	Код символа	Символ	Код символа
A	253,4069	H	-51,0183	P	-698,7366
B	-299,9113	I	28,3863	R	-11,4032
C	110,6986	L	117,8762	S	-11,0714
D	-39,7889	M	-100,0000	T	-53,6127
E	-76,0842	N	100,2255	U	225,7910
F	-9,6931	O	35,8064	W	-55,2059
G	-53,5310				

**Замечание.** Так как в большинстве случаев коды символов представляют собой вещественные числа, то в качестве адреса выбирается ближайшее целое число к результату функции  $f$ . Обычно ошибка не превышает 0,001.

**Список литературы:** 1. *Кохонен Т.* Ассоциативные запоминающие устройства. — М.: Мир, 1982. — 384 с. 2. *Кнут Д.* Искусство программирования для ЭВМ: Сортировка и поиск. — М.: Мир, 1978. — 842 с. 3. *Jaeshke G.* Reciprocal Hashing: A Method for Generating Minimal Perfect Hashing Function. — Commun. ACM, 1981, 24, N 12, p. 829—833. 4. *Sprugnoli R.* Perfect hashing function: A single probe retrieving method for static sets. — Commun. ACM, 1977, 20, N 11, p. 841—850.

Поступила в редколлегию 01.10.84.

И. Д. ПОНОМАРЕВА, В. В. САДОВСКИЙ, И. В. СУРОВЦЕВ,  
Г. В. ЦЕПКОВ

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНОГО СТОХАСТИЧЕСКОГО БАЗИСА В ЗАДАЧАХ ПРЕДСКАЗАНИЯ И ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ

Задачи предсказания и фильтрации сигналов с алгоритмической точки зрения имеют много общего; их практическое решение обычно сводится к созданию и использованию соответствующих фильтров [1—3]. Распространенным подходом к решению является построение так называемых параметрических моделей, одна из которых имеет вид

$$s_n = \sum_{k=1}^p a_k s_{n-k} + G \sum_{l=0}^q b_l u_{n-l}, \quad (1)$$

где  $a_k$  ( $1 \leq k \leq p$ ),  $b_l$  ( $1 \leq l \leq q$ ),  $G$  — параметры модели;  $\{u_n\}$  — ненаблюдаемая последовательность на входе системы с коэффициентом усиления  $G$ .

На практике рассматриваются случаи, когда передаточная функция системы имеет только полюсы, а входное воздействие  $\{u_n\}$  неизвестно. В такой трактовке задача сводится к экстраполяции значений стационарного случайного процесса в постановке Колмогорова [4—6], что связано с решением системы автокорреляционных нормальных уравнений для нахождения коэффициентов экстраполятора. Реализация метода требует значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает возможности его применения.

Аналогичные трудности возникают при решении задачи в частотной области, например, в случае реализации оптимального линейного фильтра [7]. Минимум среднеквадратичной ошибки экстраполяции также достигается путем решения корреляционных нормальных уравнений с той разницей, что автокорреляционная функция  $R(\tau)$  вычисляется по спектру мощности сигнала  $S(\omega)$ , полученному на основе Фурье-преобразования:

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega) \cos \omega\tau d\omega.$$

К методам, дающим хорошие результаты фильтрации сигналов, относят разложение в ряд Карунена-Лозва [8], которое является весьма трудоемким. Прогнозирование и фильтрация, осуществляемые по этому методу, основаны на разложении случайного процесса  $\zeta(t)$  в ряд по собственным базисным функциям  $\{\varphi(t)\}$ . Эти функции находятся как решения интегрального

уравнения Фредгольма второго ряда, ядро которого —  $R(\tau)$  процесса [2].

Рассматривая эволюцию методов экстраполяции и фильтрации (линейное предсказание, параметрическое моделирование), можно заключить, что они сводятся либо к нахождению различных составляющих подсистем, либо к определению стохастических дифференциальных уравнений (в том числе и в разностной форме) с последующей аппроксимацией их решений простыми аналитическими выражениями.

Одним из вариантов синтеза оптимального фильтра для нестационарных систем является так называемый метод пространства состояний, предложенный Калманом и Бьюси [9]. Исследуемый процесс здесь представляется в виде компоненты или линейной комбинации компонент векторного пространства. Составляющие процесса  $x(t)$  определяются решением системы линейных дифференциальных уравнений, в которых возмущения являются белые шумы.

Из сказанного следует, что методы, обеспечивающие качественную фильтрацию (или предсказание), довольно громоздки. Использование на практике простых экстраполяционных формул [1] при увеличении глубины прогноза ( $m \geq 2$ ) дает низкое качество предсказания. Поэтому необходимо найти экономичские и достаточно точные алгоритмы для решения задач прогнозирования и фильтрации.

В настоящей работе для указанных задач предложено использовать стохастические дифференциальные уравнения и показаны относительно несложные приемы их получения.

Ранее [10, 11] была показана возможность представления случайного процесса в виде

$$x(t) = \frac{1}{\Delta} [A_1 x'(t) + A_2 x''(t) + \dots + A_n x^{(n)}(t)] + \varepsilon(t), \quad (2)$$

где  $\Delta$  — определитель матрицы  $M = \left\| \frac{d^i R}{d\tau^i} \Big|_{t=\tau_{n-j}} \right\|$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = n, n-1, \dots, 1$ ;  $A_1, A_2, \dots, A_n$  — определители алгебраических дополнений к элементам первого столбца  $\Delta$ .

Такая интерпретация основана на использовании адаптивного стохастического базиса

$$x(t), x(t - \tau_1), \dots, x(t - \tau_n). \quad (3)$$

Здесь  $\tau_1, \dots, \tau_n$  — моменты обращения в нуль корреляционной функции  $R(\tau)$  процесса  $x(t)$ .

Адаптивный базис (3) служит для разложения в ряды производных процесса  $x(t)$ ; коэффициенты  $\{a_{ij}\}$  разложения определяются из условий минимизации среднеквадратических ошибок разложений:

$$\begin{aligned} x'(t) &= Q_{11}x(t) + Q_{12}x(t - \tau_1) + \dots + Q_{1n}x(t - \tau_{n-1}) + \varepsilon_1(t); \\ x''(t) &= Q_{21}x(t) + Q_{22}x(t - \tau_1) + \dots + Q_{2n}x(t - \tau_{n-1}) + \varepsilon_2(t); \end{aligned} \quad (4)$$



получаем

$$\xi(t) = \frac{a_{22}}{\Delta} \xi'(t) - \frac{a_{21}}{\Delta} \xi''(t) - \varepsilon_1(t) \frac{a_{22}}{\Delta} + \varepsilon_2(t) \frac{a_{12}}{\Delta}. \quad (8)$$

Здесь

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11}a_{12} \\ a_{21}a_{22} \end{vmatrix}, \quad a_{11} = R'(0), \quad a_{12} = R'(\tau_1), \\ a_{21} = R''(0), \quad a_{22} = R''(\tau_1).$$

Предположим, что  $R(\tau)$  такова, что  $a_{11} = a_{22} = 0$ . Тогда уравнение предсказывающего фильтра примет вид

$$\frac{1}{R''(0)} \xi''(t) - \xi(t) + A_0 = 0, \quad (9)$$

где

$$A_0 = \varepsilon_2(t) \frac{a_{12}}{\Delta} = \varepsilon_2(t) \frac{1}{R''(0)}.$$

В работе [11] дана вероятностная оценка  $A_0$ , показано, что

$$M[A_0]^2 = \frac{\alpha^2}{\beta^2} - 1. \quad (10)$$

Здесь  $\alpha$  — количество экстремальных;  $\beta$  — количество нулевых точек сигнала в единицу времени.

При построении фильтра значение управляющего воздействия находят с помощью начальных условий, в качестве которых принимают значение сигнала и его производных в точке  $t_i$ . От нее начинают прогнозирование.

При использовании предсказывающего фильтра для случая, описываемого уравнением (5), управляющее воздействием  $A_0$  определяется соотношением

$$A_0 = \frac{\xi(t_i)}{R''(0)}, \quad (11)$$

где  $\xi(t_i)$  — значение сигнала в момент времени, с которого начинается прогнозирование.

Таким образом, алгоритм построения предсказывающего фильтра заключается в определении корреляционной функции  $R(\tau)$  сигнала; вычислении производных корреляционной функции в нулевой точке  $R(0)$  и моментах ее обращения в нуль  $R(\tau_i) = 0$ ; определении стохастического уравнения (2); вычислении управляющего воздействия из начальных условий.

Описанный выше алгоритм был реализован в виде программы для ЕС ЭВМ и использован для прогнозирования реакций биообъекта, представленных электропрограммами, которые имеют случайный характер. При дискретизации электропрограмм в соответствии с теоремой Котельникова [12] получены

следующие результаты: глубина прогноза в среднем составляет не менее 20 дискретов, среднеквадратичная погрешность при этом не менее 40 %. Результат прогнозирования по описанному алгоритму в графическом виде представлен на рис. 1.

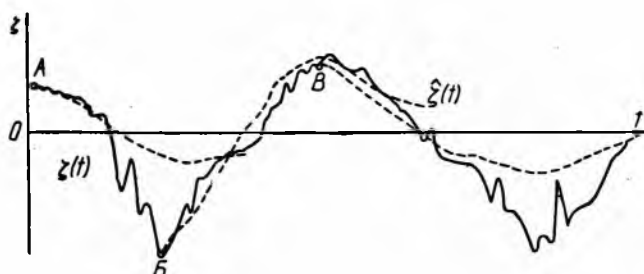


Рис. 2. Пример работы прогнозирующего фильтра на разных участках случайного сигнала: A, B, B — точки сигнала, от которых начинается прогнозирование

В заключение отметим, что использование адаптивного стохастического базиса может оказаться весьма эффективным при решении целого ряда бионических задач, связанных с прогнозированием, сокращением избыточности данных или фильтрацией.

**Список литературы:** 1. Босс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов.— М.: Мир, 1974.— 401 с. 2. Макхол Д. Линейное предсказание: Обзор.— ТИИЭР, 1975, 63, № 4, с. 20—44. 3. Хеннан Э. Многомерные временные ряды.— М.: Мир, 1974.— 575 с. 4. Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей.— Изв. АН СССР, 1941, 5, с. 3—14. 5. Яглом А. М. К вопросу о линейном интерполировании стационарных случайных последовательностей и процессов.— Усп. мат. наук, 1940, вып. 4, с. 171—178. 6. Яглом А. М. Введение в теорию стационарных случайных функций.— Усп. мат. наук, 1952, вып. 5, № 7, с. 3—168. 7. Эндриус Г., Дэвис У., Шварц Дж. Адаптивное сжатие данных.— ТИИЭР, 1967, 55, № 3, с. 25—38. 8. Первачев С. В., Валуев А. А., Чилкин В. М. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем.— М.: Сов. радио, 1973.— 448 с. 9. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем.— М.: Мир, 1971.— 400 с. 10. Пономарева И. Д. Дискретизация стационарных случайных сигналов с переменным шагом по экстремумам.— Пробл. бионики, 1978, вып. 21, с. 47—49. 11. Пономарева И. Д. Система адаптивных стохастических базисных функций.— В кн.: «Спектральные методы обработки информации в научных исследованиях». Пушино, 1972. с. 37—41. 12. Котельников В. А. Теория потенциальной помехоустойчивости.— М.: Госэнергоиздат, 1956.— 147 с.

Поступила в редколлегию 26.12.84.

А. Л. ЛИТВИНОВ, канд. техн. наук, А. П. БУГВИН

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК КОНВЕЙЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ  
ТЕЛЕВИЗОРОВ В ДИАЛОГОВОМ РЕЖИМЕ НА ЭВМ**

Производство цветных телевизоров отличается большой сложностью, значительным количеством разнообразных технологических операций и является, как правило, массовым. Ряд технических операций, таких как регулировка, ремонт после того или иного участка, где имеется выходной контроль, отличаются значительным разбросом времени. Поэтому для передачи телевизоров с одного технологического участка на другой часто используются свободно-толкающие конвейеры, позволяющие синхронизировать отдельные операции.

Для ритмичного производства с незначительным браком на отдельных технологических операциях существует хорошо разработанная теория расчета [1, 2], позволяющая выбрать количество рабочих на отдельных участках, размеры промежуточных складов и другие параметры. Однако в условиях телепроизводства, состоящего из большого количества конвейеров, особенно на начальной стадии изготовления цветных телевизоров, на всю работу системы оказывают сильное влияние разнообразные случайные факторы: разбросы параметров отдельных технологических операций, отказы телевизоров, поломки конвейеров, неритмичность производства. Учет этих факторов возможен только с использованием вероятностных методов. Работу одного конвейера можно описать с помощью однолинейной системы обслуживания [3]. В случае же системы конвейеров и разнопредметных технологических участков всю систему можно представить с помощью сети массового обслуживания, обстоятельная теория которых приведена в [4].

Каждая  $i$ -я система обслуживания, входящая в сеть и моделирующая определенный технологический участок, характеризуется следующими параметрами: количеством мест обслуживания  $n_i$ , средним временем обслуживания  $v_i$ , средним временем ожидания —  $v_i$ , временем передачи по конвейеру в пределах одного технологического участка  $w_i$ , среднему времени прохождения через  $i$ -й участок  $u_i = w_i + v_i + v_i$ , количеством телевизоров, поступающих на вход в единицу времени  $\lambda_i$  (интенсивность поступления), интенсивностью обслуживания  $\mu_i = \frac{1}{\tau_i}$ , вероятностью перехода требования после обслуживания из  $i$ -й системы в  $j$ -ю —  $\Theta_{ij}$ . Среднее время ожидания  $v_i$  зависит от  $\lambda_i$ ,  $n_i$ ,  $\mu_i$  и других

параметров системы, и для его описания можно использовать результаты, полученные в работах [4—6].

Все производство цветных телевизоров состоит из относительно независимых систем, в которых производится настройка кинескопов, изготовление футляров, и выходная продукция которых поступает на сборку главной системы — «Телевизор». В терминах моделируемой сети массового обслуживания участок сборки — это источник требований в системе «Телевизор», отдельные телевизоры — требования или заявки, отдельные технологические участки — системы обслуживания.

Наиболее главными технологическими операциями в системе «Телевизор» являются: регулировка, виброиспытания (одно или несколько), термопрогрев (т. е. выдержка во включенном состоянии определенное количество часов), окончательная сдача отделу технического контроля (ОТК), упаковка. В зависимости от тех или иных технологических решений может осуществляться или единый термопрогрев, или же несколько отдельных термопрогревов (чаще всего два). После таких технологических операций, как термопрогрев, виброиспытания выполняется контроль на функционирование и, в случае отказа, телевизор направляется на соответствующий участок ремонта, после которого опять повторяется данная технологическая операция (а иногда и несколько).

Основным показателем работы телепроизводства является процент выполнения плана (на месяц, квартал, год). При этом руководству телепроизводства интересуют также вопросы: выполнен ли план при данных параметрах телепроизводства и возможной неритмичности. Если план невыполним, какие участки являются критическими и как выбрать их параметры, чтобы выполнить план.

Пусть  $m$  — количество технологических участков обслуживания системы «Телевизор»;  $\beta_i$  — средний процент брака  $i$ -го участка, на выходе которого осуществляется контроль;  $\Theta_{ij}$  — вероятность перехода телевизора с  $i$ -го участка на  $j$ -й;  $P$  — план выпуска телевизоров на месяц;  $\gamma_e$  ( $e=1,3$ ) — процент выпуска телевизоров по декадам (неритмичность производства). С учетом этого получим:

распределение выполнения плана по декадам

$$P_e = 0,01\gamma_e P \quad (e = \overline{1, 3});$$

вероятность перехода телевизора с  $i$ -го участка на  $i + 1$  (т. е. без брака)

$$\theta_{i,i+1} = 1 - 0,01\beta_i;$$

средняя интенсивность поступления телевизоров с участка сборки в  $e$ -й декаде:

$$\Lambda_e = P_e / \Phi_d = \frac{0,01\gamma_e P}{\Phi_d},$$

где  $\Phi_d$  — декадный фонд рабочего времени. Если  $\Lambda_e$  имеет размерность тел/мин., то декадный фонд рабочего времени, выраженный в минутах, при трехсменной рабочей неделе равен 10400 мин.

Пусть  $\lambda_i^e$  — средняя интенсивность потока на входе  $i$ -й системы обслуживания в  $e$ -й декаде. Тогда справедлива следующая система уравнений относительно  $\lambda_i^e$ :

$$\lambda_i^e = \Lambda_e + \sum_{j=2}^m \lambda_j^e \theta_{ji}; \quad \lambda_i^e = \sum_{j=1, i \neq j}^m \lambda_j^e \theta_{ji}. \quad (1)$$

Решив эту систему уравнений, получим значения суммарных интенсивностей на входе той или иной системы обслуживания в  $e$ -й декаде ( $e = 1; 2; 3$ ), выраженные через  $\Lambda_e$ :

$$\lambda_i^e = \alpha_i \Lambda_e, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

При расчете сетей массового обслуживания необходимо, чтобы каждая система, входящая в сеть, успевала обработать все требования, которые в нее поступают, т. е. она должна работать в стационарном режиме. Это условие для  $e$ -й декады можно выразить в виде отношения

$$\lambda_i^e < n_i \mu_i. \quad (3)$$

Воспользовавшись (2), получим  $\alpha_i \Lambda_e < n_i \mu_i$ , откуда

$$\Lambda_e < \min_{i=\overline{1, m}} \frac{n_i \mu_i}{\alpha_i}. \quad (4)$$

Это неравенство является необходимым условием существования установившегося режима.

Пусть  $T_e$  — среднее время пребывания требования в сети (т. е. полное суммарное время с момента поступления телевизора с участка сборки до его выхода с участка упаковки) в  $e$ -й декаде. Если известно для каждой системы обслуживания среднее время пребывания в  $e$ -й декаде, то тогда согласно [3] продолжительность пребывания требования в сети определяется выражением

$$T_e = \sum_{i=1}^m \alpha_i u_i^e. \quad (5)$$

Исходя из этого соотношения, можно выбрать необходимое количество подвесок в системе «Телевизор», на которых отдельные телевизоры передаются с одного технологического участка на другой. Если с участка сборки выйдет одна подвеска с телевизором, то, пока она не возвратится опять на этот участок (уже пустая после выгрузки), сюда необходимо подавать новые подвески. Средний такт выхода телевизоров с участка сборки в  $e$ -й декаде определяется выражением

$$1/\Lambda_e. \quad (6)$$

Если по каждой декаде выполняется соотношение (4), то через систему «Телевизор» можно пропустить плановое задание. Если же для  $e$ -й декады соотношение (4) не выполняется, то возможная программа выпуска телевизоров  $N_e$  в  $e$ -й декаде определяется соотношением

$$N_e = M\Phi_e, \quad (7)$$

где  $M = \min_{i=1, m} \frac{n_i \mu_i}{\alpha_i}$  — пропускная способность системы.

Так как обычно  $\gamma_3 \geq \gamma_2 \geq \gamma_1$ , то срыв задания в  $i$ -й декаде невозможно компенсировать в  $(i + 1)$ -й декаде. При этом возмож-

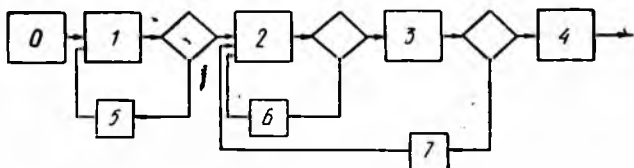


Рис. 1. Функциональная схема системы «Телевизор»:

0 — участок сборки; 1 — участок регулировки; 2 — участок термопрогрева; 3 — участок окончательной сдачи; 1, 2, 3 — участки контроля; 4 — участок упаковки; 5, 6, 7 — участки ремонта соответственно после регулировки, термопрогрева, окончательной сдачи

ная месячная программа выпуска цветных телевизоров  $N = N_1 + N_2 + N_3 < P$ .

Используя рассмотренную формализацию системы «Телевизор» в виде сети массового обслуживания, можно рассчитывать основные характеристики производства цветных телевизоров (рис. 1).

Процент выполнения плана по декадам (неритмичность), %:  $\gamma_1 = 27$ ;  $\gamma_2 = 33$ ;  $\gamma_3 = 40$ .

Брак после каждого участка, где имеется контроль, составляет 10%. План выпуска на месяц — 9000 телевизоров. Полные характеристики отдельных участков сведены в таблицу. Для упрощения расчетов временем ожидания телевизорами обслуживания перед тем или иным участком пренебрегаем.

Номер участка	Параметры			
	$n_i$	$v_i$	$w_i$	$\theta_{ij}$
1	30	40	20	$\theta_{12} = 0,9$ $\theta_{15} = 0,1$
2	1800	2400	60	$\theta_{23} = 0,9$ $\theta_{26} = 0,1$
3	10	12	20	$\theta_{36} = 0,9$ $\theta_{37} = 0,1$
5	4	20	10	$\theta_{51} = 1$
6	4	20	12	$\theta_{62} = 1$
7	4	20	15	$\theta_{72} = 1$

Прежде всего рассчитаем план выпуска телевизоров по декадам и интенсивность выхода телевизоров с участка сборки:

$$P_1 = 9000 \cdot 0,27 = 2430 \text{ (тел);}$$

$$\Lambda_1 = 0,243 \text{ (тел/мин);}$$

$$P_2 = 9000 \cdot 0,33 = 2970 \text{ (тел);}$$

$$\Lambda_2 = 0,286 \text{ (тел/мин);}$$

$$P_3 = 9000 \cdot 0,4 = 3600 \text{ (тел); } \Lambda_3 = 0,348 \text{ (тел/мин).}$$

Подставив значения параметров системы «Телевизор» из таблицы в систему уравнений (1), найдем значение  $\lambda_i^e$ , выраженное через  $\Lambda_e$ :

$$\lambda_1^e = \frac{\Lambda_e}{1 - \beta_1/100}; \quad \lambda_2 = \frac{\Lambda_e}{(1 - \beta_2/100)(1 - \beta_3/100)};$$

$$\lambda_5 = \frac{0,01\beta_1}{1 - 0,01\beta_1} \Lambda_e; \quad \lambda_3 = \frac{\Lambda_e}{1 - 0,01\beta_3};$$

$$\lambda_7 = \frac{0,01\beta_3}{1 - 0,01\beta_3}; \quad \lambda_6 = \frac{0,01\beta_2}{(1 - 0,01\beta_2)(1 - 0,01\beta_3)} \Lambda_e.$$

$$\lambda_{14} = \Lambda_e.$$

Соответствующие коэффициенты при  $\Lambda_e$  являются, согласно (2), выражениями для  $\alpha_i$ . Рассчитав для каждого технологического участка  $\frac{n_i \mu_i}{\alpha_i}$  и выбрав минимальное значение, определим пропускную способность системы  $M$ , равную 0,608 тел/мин, и наиболее напряженный участок — термопрогрев. Так как  $M > \Lambda_e$  ( $e = 1; 2; 3$ ), то план выполним.

Рассчитав по формуле (5) среднее значение времени прохождения телевизоров через систему «Телевизор»  $T$ , равное 3125, и воспользовавшись формулой (6), определим потребное количество подвесок для каждой декады: для первой — 720, для второй — 880, для третьей — 1080.

Зная значение пропускной способности системы, можно определить максимально возможную программу выпуска телевизоров. С этой целью рассчитывается возможная программа выпуска телевизоров для самой напряженной декады (в данном случае третьей) по формуле (7):

$$N_3 = \Lambda_3 \Phi_a = 0,608 \cdot 10400 = 6330 \text{ (тел.).}$$

После этого, зная значение  $\gamma_3$ , определим возможную программу выпуска  $N$ :

$$N = \frac{N_3 \cdot 100}{\gamma_3} = 15750 \text{ (тел).}$$

Рассмотренные выше соображения положены в основу разработки диалоговой автоматизированной системы расчета характеристик конвейерного производства цветных телевизоров (ДАСР), позволяющей значительно ускорить расчеты, проигрывать различные варианты за пультом ЭВМ. Для реализации ДАСР был использован диалоговый язык программирования БЭЙСИК, в качестве пульта оператора может использоваться

машинка или дисплейный модуль (например, ДМ — 2000). Укрупненная ее блок-схема изображена на рис. 2.

Система может работать в двух режимах: определения параметров и в режиме генерации варианта структуры системы «Телевизор». Выбор режима осуществляется в блоке 2. В блоке

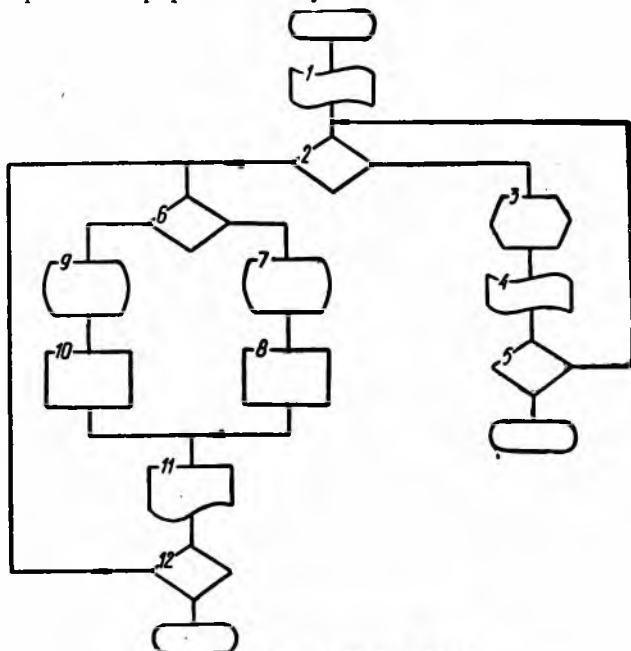


Рис. 2. Блок-схема ДАСР

3 производится ввод данных о варианте построения: количество входящих технологических операций, их названия и связи друг с другом. В блоке 4 сгенерированный вариант выводится на перфоленту. Режим определения параметров состоит из двух подрежимов: расчет характеристик системы «Телевизор» (возможность выполнения плана, распределение производственной программы по декадам, пропускную способность) и выбор параметров (количество регулировщиков, ремонтников, контролеров ОТК, потребное количество подвесок) по заданной структуре системы «Телевизор». Оба подрежима начинаются диалогом с оператором (блоки 7, 9), во время которого вводятся необходимые данные. В блоке 11 производится вывод рассчитанных параметров и характеристик: возможная программа выпуска, пропускная способность, количество подвесок и остальное. Блоки 5 и 12 позволяют вернуться на начало работы.

В заключение отметим, что разработанная система расчета характеристик производства ЦТ ДАСР показала высокую аде-

кватность реальному производству цветных телевизоров, хорошую точность рассчитываемых параметров.

**Список литературы:** 1. Демьянюк Ф. С. Технологические основы поточно-автоматизированного производства.— М.: Высш. шк., 1968.— 700 с. 2. Пармонов Ф. И. Механизация и автоматизация управления серийным производством (на основе поточных методов организации труда).— М.: Машиностроение, 1968.— 280 с. 3. Алдохин И. П. Моделирование управления производством.— Х.: Прапор, 1975.— 96 с. 4. Кофман А., Крюков Р. Массовое обслуживание. Теория и приложения.— М.: Мир, 1965.— 303 с. 5. Попов В. А., Литвинов М. Л., Литвинов А. Л. Анализ системы обслуживания при входном потоке требований с гиперэкспоненциальным распределением.— Пробл. передачи информации, 1977, вып. 1, с. 97—101. 6. Функционирование информационной системы с конвейерной обработкой элементов информационного потока / Э. В. Лысенко, В. А. Попов, А. Л. Литвинов, А. А. Кононенко.— Радиоэлектроника летательных аппаратов, 1976, вып. 8, с. 155—160.

*Поступила в редколлегию 24.05.83.*

---

УДК 621.39.1 : 539.1

М. А. ИВАНОВ, канд. техн. наук

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕНЫ ИНФОРМАЦИИ С УЧЕТОМ СКОРОСТИ ЕЕ ПЕРЕДАЧИ

---

Известные методики расчета связанных радиолиний не учитывают, как правило, зависимость энергетических затрат от скорости передачи информации [1]. Вместе с тем для систем передачи данных со сверхвысокими скоростями, особенно на большие расстояния и (или) в физических средах с высоким уровнем затухания сигналов, исследование данной зависимости приобретает не только принципиальное теоретическое, но и важное практическое значение [1, 2]. При этом будем различать оценки потенциальной (учитывающей лишь принципиально неустранимые тепловые шумы и квантовые эффекты), реальной (с учетом влияния практических ограничений на характеристики сигналов и параметры каналов), эффективной (учитывающей также и некоторые семантические аспекты проблемы определения количества принятой информации), приведенной ко входу приемника сигналов  $E$  и абсолютной (определяемой на выходе передатчика сигналов)  $\mathcal{E}$  энергетической цены передачи единицы информации.

Из формулы Бриллюэна [2]

$$E \geq T \tag{1}$$

следует, что для передачи одной натуральной единицы информации в канале с шумовой температурой  $T = T_{\text{тепл}} + T_{\text{квант}}$  необ-

ходимо доставить приемнику сигнал с энергией, превышающей, как минимум, значение  $T$ . Однако при повышении скорости передачи информации  $R$  ее энергетическая цена возрастает, причем [1]

$$E \geq T \frac{C}{R} + \frac{3}{\pi} hR, \quad (2)$$

где  $C$  — пропускная способность канала связи (бит/с);  $h = \frac{h}{2\pi}$  — постоянная Планка.

Однако соотношение (2) не в полной мере учитывает специфику передачи сообщений, поскольку при этом необходимо не только обеспечить прием сигнала, но и осуществить измерение (оценку) значений его информационных параметров. Используя результаты работы [2], можно получить следующее соотношение для определения потенциальной энергетической цены передачи натуральной единицы информации в идеализированном синхронном канале цифровой связи:

$$E_{\text{пот}} \geq \left[ T \frac{C}{B} + \frac{3}{\pi} hB \right] \sum_{i=1}^M \frac{\exp(2\Delta I_i)}{2\Delta I_i}. \quad (3)$$

Здесь  $B$  — скорость модуляции (бод/с);  $M$  — число информационных параметров сигнала ( $M = 1, 2, \dots$ );  $\Delta I_i$  — количество натуральных единиц информации, переносимое  $i$ -й координатой сигнала за один элементарный символ, причем  $\Delta I_i = \ln b_i$  и  $\exists i \in \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $b_i > 1$ ,  $\rightarrow \Delta I_i \neq 0$ ;  $\exists$  — квантор существования.

В случае использования несинхронных каналов передачи цифровой информации в выражение (3) необходимо подставить усредненную за сеанс связи скорость модуляции  $B_{\text{средн}}$ . Формула (3) может быть применена также и для исследования аналоговых систем связи, если в последнем случае под скоростью модуляции  $B$  условно понимать величину, определяемую шириной полосы пропускания приемника сигналов данной системы. Если количество информации оценивается не в натуральных единицах (т.е.  $\Delta I'_i = \log_a b_i$ ,  $\forall i \in \{1, 2, \dots, M\}$ , причем  $a \neq e$ ;  $\forall$  — квантор общности), то формула для определения потенциальной энергетической цены передачи данной единицы информации имеет следующий вид:

$$E_{\text{пот}} \geq \ln a \left[ T \frac{C}{B} + \frac{3}{\pi} hB \right] \sum_{i=1}^M \frac{a^{2\Delta I'_i}}{2\Delta I'_i}. \quad (4)$$

Для определения реальной энергетической цены передачи единицы информации необходимо учесть шумовые свойства антенно-фидерных и радиоприемных устройств, а также возможные линейные и нелинейные искажения дискретных сигналов в

частотно-избирательных каналах связи с неидеальными характеристиками [3—7]. Таким образом, эффективная температура реального канала передачи цифровой информации  $T_{\Sigma}$  может быть определена из следующей формулы:

$$T_{\Sigma} = T_{\text{ш}} \frac{C}{B} + \frac{3}{\pi} hB + T_{\text{лин}} + T_{\text{нел}}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{ш}}$ ,  $T_{\text{лин}}$ ,  $T_{\text{нел}}$  — эффективная температура пересчитанных на вход приемника полных шумов канала связи, линейных и нелинейных искажений дискретных сигналов соответственно.

В реальных каналах связи практически неизбежны потери энергии сигнала и, кроме того, для нормального функционирования связной системы требуется обеспечить определенную степень превышения сигнала над уровнем шумов [7]. С целью учета данных факторов при оценке энергетических затрат на передачу информации определим коэффициент  $k$  практического использования энергии сигнала следующим образом:

$$k = \prod_{i=1}^3 k_i. \quad (6)$$

Здесь  $k_1$  — коэффициент, характеризующий требуемое для заданных качества приема и характеристик используемых сигнала, модема, кодека и решающей схемы превышение сигнала над шумом;  $k_2$  — коэффициент, характеризующий относительные потери энергии сигнала при заданном способе его обработки (т. е. из-за ограничения полосы пропускания приемника; вследствие стробирования отсчетных значений сигнала и т. п.);  $k_3$  — коэффициент характеризующий относительные потери энергии сигналов из-за наличия пространственных, временных и частотных рассогласований параметров реального приемника с соответствующими характеристиками сигналов.

Учитывая также усредненные за сеанс связи затраты энергии на вхождение в связь (т. е. на пространственный поиск сигналов и вхождение в синхронизм), общее аналитическое соотношение для определения реальной энергетической цены передачи натуральной единицы информации можно окончательно записать в следующем виде:

$$E_{\text{реал}} \geq k^{\#} T_{\Sigma}^{\#} \sum_{i=1}^{M^{\#}} \frac{\exp(2\Delta J_i^{\#})}{2\Delta J_i^{\#}} + \frac{1}{N^{\#}} \sum_{p=1}^2 L_{(p)}^{\bullet} k_{(p)}^{\bullet} T_{(p)}^{\bullet} \left\{ \alpha_{(p)}^{\bullet} + \sum_{j=1}^{M_{(p)}^{\bullet}} \frac{\exp[2\Delta J_{(p)j}^{\bullet}]}{2\Delta J_{(p)j}^{\bullet}} \right\}, \quad (7)$$

где надстрочный знак \* и # характеризует значение величины в режиме вхождения в связь и в режиме приема информации соответственно; подстрочный символ ( $p$ ) соответствует величине в режиме пространственного поиска сигнала (при  $p = 1$ ) и в режиме вхождения в синхронизм (при  $p = 2$ );  $N^{\#}$  — общее количество натуральных единиц информации, передаваемое за сеанс связи;  $L_{(p)}^{\#}$  — общее количество натуральных единиц поисковой информации в соответствующем режиме работы системы связи;  $\alpha_{(p)}^{\#}$  — числовые коэффициенты, значения которых лежат в пределах  $2 < \alpha_{(p)}^{\#} \leq 5,8$ ,  $V_p = 1,2$  (обычно можно считать, что  $\alpha_{(1)} = \alpha_{(2)} = 5,8$ ) [1].

Используя определяемые соотношениями (3), (7) потенциальные  $E_{\text{пот}}$  и реальные  $E_{\text{реал}}$  оценки приведенной энергетической цены передачи единицы информации, а также известную методику расчета энергетике радиолиний [7], можно найти значения абсолютных энергетических затрат  $\mathcal{E}_{\text{пот}}$  и  $\mathcal{E}_{\text{реал}}$  на передачу сообщений известной информационной емкости  $N^{\#}$  в заданном канале связи. При этом наличие двух слагаемых в фигурных скобках формулы (7) обусловлено необходимостью предварительного поиска сигнала и последующего извлечения из некоторых его параметров поисковой информации для соответствующей подстройки приемника в режиме вхождения в связь [7]. Возможное различие значений входящих в выражение (7) величин для режима приема информации и при вхождении в связь объясняется использованием различных (в общем случае) технических средств и алгоритмов работы в указанных режимах [3, 7]. Например, для быстрого пространственного поиска сигнала может использоваться слабонаправленная антенна, в то время как прием сигналов осуществляется с помощью узконаправленной антенны; для быстрого захвата сигнала может применяться внешнее широкополосное кольцо грубой автоподстройки, а точное отслеживание синхропараметров сигнала обеспечивается внутренней схемой фазовой автоподстройки и т. п. Таким образом, (1) может быть переписано в следующем виде:

$$E_{\text{реал}} = (k^{\#} l_{\text{ш}}^{\#} + \varphi_{\text{п}}^{\#}) E_{\text{пот}}, \quad (8)$$

где  $l_{\text{ш}}^{\#}$  — зависящий, в общем случае, от скорости модуляции «коэффициент шума» реального канала связи;

$$l_{\text{ш}}^{\#} = \frac{T_{\Sigma}^{\#}}{T \frac{C}{B} + \frac{3}{\pi} hB} = \frac{T_{\text{ш}} \frac{C}{B} + \frac{3}{\pi} hB + T_{\text{лин}} + T_{\text{нел}}}{T \frac{C}{B} + \frac{3}{\pi} hB}; \quad (9)$$

$\varphi_{\text{п}}^{\#}$  — коэффициент, учитывающий влияние переходных процессов вхождения в связь на реальную энергетическую цену передачи информации;

$$\varphi_n^* = \frac{1}{E_{\text{пот}} N^{\#}} \sum_{p=1}^2 L_{(p)}^* k_{(p)}^* T_{(p)}^* \left\{ \alpha_{(p)}^* + \sum_{j=1}^{M_{(p)}} \frac{\exp [2\Delta I_{(p)j}^*]}{2\Delta I_{(p)j}^*} \right\}. \quad (10)$$

При этом очевидно, что

$$\lim_{N^{\#} \rightarrow \infty} \varphi_n^* = 0, \quad (11)$$

т. е. учет переходных процессов вхождения в связь при определении реальной энергетической цены передачи единицы информации практически целесообразен лишь для сравнительно коротких сеансов связи, в первую очередь — в случае временного разделения каналов, особенно с одновременной коммутацией пространственно разнесенных источников сообщений. Отметим также, что при прочих равных условиях значение  $\varphi_n^*$  растет с увеличением объема поисковой информации  $\sum_{p=1}^2 L_{(p)}^*$  и (или) скорости ее переработки.

Определим информационную плотность используемых в канале связи сигналов и оценим качественно зависимость этой сигнальной характеристики от скорости передачи сообщений. С учетом результатов работы [6] можно видеть, что

$$Q_{\text{пот}} = \frac{\vartheta}{\mathfrak{E}_{\text{пот}}} \Big|_{\mathfrak{E}_{\text{пот}} < \mathfrak{E}_{\text{реал}}} \geq Q_{\text{реал}} = \frac{\vartheta}{\mathfrak{E}_{\text{реал}}}, \quad (12)$$

$$\rho_{\text{пот}} = \frac{\vartheta}{E_{\text{пот}}} \Big|_{E_{\text{пот}} < E_{\text{реал}}} \geq \rho_{\text{реал}} = \frac{\vartheta}{E_{\text{реал}}}, \quad (13)$$

где  $Q_{\text{пот}}$  ( $\rho_{\text{пот}}$ ) и  $Q_{\text{реал}}$  ( $\rho_{\text{реал}}$ ) — оценка соответственно потенциальной и реальной абсолютной (приведенной) информационной плотности сигналов, усредненные по их объему;  $\vartheta$  — удельная скорость передачи информации, бит/с·Гц.

Численное значение  $\vartheta$  при заданном  $B$  однозначно определяется суммой  $\sum_{i=1}^M \Delta I_i$  [3, 6, 7]. При этом необходимо учитывать, что эффективная температура линейных  $T_{\text{лин}}$  и нелинейных  $T_{\text{нел}}$  искажений дискретных сигналов в реальных каналах связи является зависимой от скорости передачи информации [3—5]. В частности, уровень межсимвольной интерференции нарастает пропорционально квадрату скорости модуляции [3]. Поэтому реальная информационная плотность сигналов снижается как при увеличении удельной скорости передачи информации  $\vartheta$  (т. е. при возрастании суммы  $\sum_{i=1}^M \Delta I_i$ ), так и при повышении скорости модуляции  $B$ , тогда как потенциальная величина информационной плотности сигналов зависит лишь от суммы  $\sum_{i=1}^M \Delta I_i$  и практически не изменяется с ростом

значения  $B$ . Только при  $\frac{\Delta f}{f_0} \rightarrow 1$  (где  $\Delta f$  и  $f_0$  — соответственно ширина полосы пропускания приемника и значение ее центральной частоты)  $\frac{3}{\pi} hB \rightarrow T_{\text{квант}} \sim hf_0$ , т. е. узкополосные по отношению к несущей частоте сигналы в информационном отношении более плотные, чем сигналы, ширина полосы которых сравнима с величиной их центральной («несущей») частоты. Учитывая, однако, что для реальных систем связи, как правило, выполняется условие узкополосности [7], т. е.  $\frac{\Delta f}{f_0} \ll 1$ , то  $\frac{3}{\pi} hB \ll T_{\text{квант}} < T$ . Поэтому для повышения степени практического использования потенциальных информационных возможностей высокоскоростных каналов связи первостепенное значение приобретают вопросы существенного снижения уровня линейных и особенно нелинейных искажений дискретных сигналов.

В заключение оценим эффективную энергетическую цену передачи единицы информации. Действительно, наличие в сообщении служебной (в том числе и тестовой поисковой) и избыточной (используемой, например, для построения помехоустойчивых кодов) информации, а также ошибочный прием и (или) стирание некоторой части символов приводит к снижению эффективной скорости передачи данных  $R_{\text{эфф}} \leq R_{\text{пот}} = R$  [4, 5]. Уменьшение значения  $R_{\text{эфф}}$  вызывают также эффекты старения передаваемой информации при увеличении временной задержки ее доставки до потребителя [4] и, кроме того, наличие ненулевых межканальных защитных промежутков, конечного интервала времени на вхождение в связь и возможных перерывов связи вследствие функциональных и (или) аппаратурных отказов линии передачи информации [5, 7]. При этом можно показать, что

$$E_{\text{эфф}} = \frac{1}{\beta} E_{\text{реал}}, \quad (14)$$

где  $\beta$  — коэффициент информационно-энергетической эффективности канала связи ( $0 < \beta \leq 1$ ), причем

$$\beta = \gamma \sum_{i=1}^{M^{\#}} \exp [2\Delta I_i^{\#} (1 - \gamma)]. \quad (15)$$

Здесь  $\gamma = \frac{R_{\text{эфф}}}{R}$ ,  $0 \leq \gamma \leq 1$ .

Тогда приведенную эффективную информационную плотность сигналов можно оценить следующим образом:

$$\rho_{\text{эфф}} = \frac{v_{\text{эфф}}}{E_{\text{эфф}}} = \frac{v\gamma}{E_{\text{реал}} \frac{1}{\beta}} = \beta\gamma\rho_{\text{реал}}. \quad (16)$$

Определяемые соотношениями (14) и (16) значения эффективной энергетической цены передачи единицы информации  $E_{\text{эфф}}$

и эффективной информационной плотности  $\rho_{эфф}$  используемых сигналов позволяют адекватно оценить интегральную эффективность функционирования систем связи с помощью скалярного показателя качества.

В целом результаты данной работы могут быть использованы для оптимизации широкого класса высокоскоростных линий связи, а также информационно-измерительных систем по критерию максимума скорости передачи сообщений при ограниченной энергетике канала, либо по критерию минимума энергетической цены передачи информации с заданной скоростью.

**Список литературы:** 1. *Митюгов В. В.* Физические основы теории информации.— М.: Сов. радио, 1976.— 216 с. 2. *Поплавский Р. П.* Термодинамика информационных процессов.— М.: Наука, 1981.— 256 с. 3. *Тамм Ю. А., Садовский В. Б.* Спектральные методы оценки качества передачи цифровых сигналов.— М.: Связь, 1974.— 72 с. 4. *Иванов М. А., Макаренко Б. И.* Анализ возможностей повышения скорости передачи стареющей информации в реальном масштабе времени.— Радиотехника, 1984, вып. 70, с. 22—27. 5. *Иванов М. А., Макаренко Б. И., Вильчинский А. С.* Оценка качества функционирования систем передачи информации по критерию реальной пропускной способности.— В кн.: Распространение и дифракция радиоволн в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. К., 1984, с. 96—100. 6. *Иванов М. А.* Оценка реальных информационных свойств систем передачи сигналов.— Радиоэлектроника летательных аппаратов, 1982, вып. 12, с. 87—91. 7. *Спилкер Дж.* Цифровая спутниковая связь / Пер. с англ.— М.: Связь, 1979.— 592 с.

*Поступила в редколлегию 12.11.84.*

## РЕФЕРАТЫ

УДК 62—506:576.3.001.57

**Модель рецепторной зоны живой клетки.** *Сообщение 1.* Гринченко С. Н., Загускин С. Л.—Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 3—11.

Предлагается модель рецепторной зоны живой клетки, разработанная на основе цитокибернетического подхода и воспроизводящая адаптационные механизмы, временную селекцию и классификацию внешних сигналов как медиаторной, так и макромолекулярной природы, оценку их привычности по соотношению функциональных, энергетических пластических сдвигов и устойчивости микроструктуры. Подробно описываются структура и поведение двух подсистем модели (из пяти): локального участка рецепторной мембраны и механизма временной селекции внешних сигналов.

Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.76:681.3

**Автоматическое выделение щелевых согласных в речевом сигнале.** Бондаренко М. Ф., Николенко В. Л.—Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 11—16.

Показано использование переходов через ноль в речевом сигнале для характеристики щелевых согласных русского языка.

Приведен алгоритм автоматического выделения в речевом сигнале щелевых согласных.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 534.78:519.254

**О методе автоматического выделения группы согласных русского языка.** Гаврашенко А. Н., Бондаренко М. Ф.—Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 16—25.

Предложен метод для осуществления автоматического распознавания шумных согласных русского языка, присутствующих в составе изолированно произносимых слов независимо от диктора.

Ил. 5. Библиогр.: 4 назв.

УДК 62+519.5—506

**Прогнозирование минимальной части рукописной буквы для распознавания.** Березная И. Я., Страхович Э. В.—Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 25—35.

Описан алгоритм распознавания рукописных знаков на основе выделения топологических особенностей знаков и анализа их взаимного расположения. Используются лингвистический подход, позволяющий предсказать класс буквы по части ее контура, что сокращает число просматриваемых точек на ее изображении.

Ил. 3. Библиогр.: 8 назв.

УДК 801:681.3.004.14

**Машинный перевод: история, проблемы, результаты.** Кравчук И. С.—Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 35—44.

Рассматриваются отношения двух направлений в истории МП. Анализируются различия между естественным и машинным переводом. Указываются средства компенсации этих различий. Обсуждаются пути развития действующих систем МП.

Библиогр.: 7 назв.

УДК 331.015.11:65.015

Лабораторное изучение психологических особенностей управления подвижными объектами. Жорник Е. В.— Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 44—48.

Рассматриваются психологические особенности операторской деятельности при управлении подвижными объектами. Описана экспериментальная установка для проведения лабораторного исследования дистанционного управления скоростью подвижных объектов. Приведены результаты первой серии опытов.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 801.541.2

Формализация процесса распознавания естественноречевых выражений категории времени в интерфейсе пользователя с базой данных. Литвиненко И. В.— Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 49—55.

Произведен анализ естественноречевых способов выражения категории времени, описана модель временной компоненты интерфейса пользователя с базой данных, позволяющая оптимизировать обработку временной информации близкого к естественному языку запросов пользователя к БД.

Библиограф.: 6 назв.

УДК 510.62

О нормализации слитной речи по среднему уровню звукового давления. Нагорный В. Д., Прасол Г. А., Шабанов-Кушнаренко С. Ю.— Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 55—61.

Рассматривается математическая модель нормализации слитной речи по среднему уровню звукового давления. Предложен способ технической реализации модели с использованием цифровых элементов, обрабатывающих параллельные и последовательные коды чисел.

Ил. 5. Библиогр.: 3 назв.

УДК 658.012.011

Отладка алгоритмов на основе формально-логических методов. Рось А. А., Богданов Ю. Г.— Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 62—66.

Рассмотрены вопросы применения аппарата формальной логики для отладки алгоритмов управления. Показано, что отладка алгоритмов заключается в проверке аксиоматической модели процесса управления на непротиворечивость, независимость и полноту относительно круга целей функционирования системы.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.397.6:534.4

Эргономические аспекты задачи отображения относительных отклонений звуковых сигналов. Ивановская З. В., Михнов Д. К.— Пробл. бионики, 1986, вып. 36, с. 66—71.