

007(06)  
1772

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

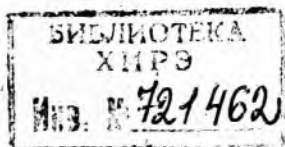
## ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

---

Республиканский  
межведомственный  
научно-технический  
сборник

Основан в 1968 г.

ВЫПУСК 47



Харьков  
Издательство «Основа» при Харьковском  
государственном университете  
1991

Сборник посвящен математическому описанию психической деятельности человека. Рассмотрены вопросы математического и аппаратного моделирования процессов переработки информации на различных уровнях нервной системы. Предложены методы и модели психической бионики: модели языка и речи, принципы построения диалоговых систем. Дальнейшее развитие получил математический аппарат исследования и описания механизмов человеческого интеллекта.

Моделируются различные особенности функционирования головного мозга.

Предложены новые методы и принципы построения различных программных и технических средств, основанных на бионических принципах.

Для научных работников и специалистов.

Редакционная коллегия: *Ю. П. Шабанов-Кушнарченко* (отв. ред.), *М. Ф. Бондаренко* (зам. отв. ред.), *Г. Г. Четвериков* (отв. секр.), *В. И. Васильев*, *Т. К. Винцюк*, *А. Д. Закревский*, *К. А. Иванов-Муромский*, *Р. Г. Котов*, *Э. Мг. Куссуль*, *Б. М. Лобанов*, *В. А. Ловицкий*, *Г. А. Миронов*, *Л. Л. Нелюбин*, *А. Ф. Осыка*, *В. И. Перебийнос*, *Е. П. Путятин*, *И. Б. Сироджа*, *В. Я. Сердюченко*, *Г. Л. Фролов*, *В. Т. Чернов*

**Адрес редакционной коллегии:** 310726 Харьков, пр. Ленина, 14. Институт радиоэлектроники, тел. 40-93-66.

Редакция литературы по естественным наукам и филологии  
Зав. редакцией *Е. П. Иващенко*

В. И. БУЛКИН, Д. Э. СИТНИКОВ, Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО,  
д-р техн. наук, Н. В. ШАРОНОВА, канд техн. наук

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕЖМОРФЕМНЫХ СВЯЗЕЙ НА МНОЖЕСТВЕ ПОЛИСЕМАНТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДЯЩИХ ОСНОВ И СЛОВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СУФФИКСОВ

В процессе развития вычислительной техники и все более широкого внедрения ее в различные отрасли народного хозяйства особое значение приобретает удобство общения человека с ЭВМ. В настоящее время общение пользователя с ЭВМ, как известно, происходит с помощью программ, для написания которых используются специальные языки программирования. ЭВМ будущих поколений должны иметь такие аппаратные и программные средства, которые позволяют осуществлять общение с машиной на естественном языке. Для решения этой проблемы в автоматизированных информационных системах предусматривается создание человеко-машинного интеллектуального интерфейса, адекватно реагирующего на естественно-языковые запросы человека путем формирования осмысленных ответов на поступающие входные сообщения.

Одной из важных проблем при создании интеллектуального интерфейса является адекватная интерпретация смысла сообщений, решение которой невозможно без понимания смысла слова. Как известно, смысл производного слова (именно такие слова мы будем рассматривать) в общем случае нельзя описать как простую сумму смыслов составляющих его морфов. Для того чтобы лучше понять механизм формирования смысла деривата, необходимо рассмотреть и описать математически межморфемные семантические связи, возникающие в процессе словообразования между префиксальными и корневыми морфемами, корневыми и суффиксальными морфемами, а также между основами и окончаниями.

Рассмотрим математическое моделирование межморфемных семантических связей на морфемном шве между корневым и суффиксальным морфемами производного слова. Пусть имеется множество производных слов, каждое из которых может быть представлено в виде  $P \nabla Q \nabla S \nabla R$ , где  $P$  — префиксальная морфема;  $Q$  — корневая морфема;  $S$  — суффиксальная морфема;  $R$  — окончание. Знак  $\nabla$  показывает, что между этими морфемами существуют определенные семантические связи, которые необходимо описать математически. Согласно работе [2], если существует два множества семантических ролей  $S_1$  и  $S_2$  и два множества предикатов-морфем  $M_1$  и  $M_2$ , операция соединения двух морфем  $P_1(t) \in M_1$  и  $P_2(t_2) \in M_2$  характеризуется согласованием семантических ролей этих двух морфем. В результате соединения получим множество формализованных связей между семантическими ролями рядом стоящих морфем. Такое множество представ-

ляет собой некоторый бинарный предикат  $P(t_1, t_2)$ , причём  $P(t_1, t_2) \rightarrow P_1(t_1) \cdot P_2(t_2)$  и, если предположить, что возможность установления семантических связей не зависит от вида морфем, то на декартовом произведении  $S_1 \times S_2$  можно задать предикат  $\lambda(t_1, t_2)$ , принимающий значение 1, если между семантическими ролями  $t_1$  и  $t_2$  устанавливаются связи, и 0 — в противном случае. Логическое произведение  $P_1(t_1) \cdot P_2(t_2)$  означает возможность согласования любой семантической роли морфемы  $P_1(t_1)$  с любой семантической ролью морфемы  $P_2(t_2)$ . Однако в действительности часто некоторые роли рядом стоящих морфем не согласуются, поэтому операция соединения \* морфемных семантических ролей запишется так:

$$P_1(t_1) * P_2(t_2) = \lambda(t_1, t_2) \cdot P_1(t_1) \cdot P_2(t_2), \quad (1)$$

где логическое произведение  $P_1(t_1) \cdot P_2(t_2)$  описывает все связи между семантическими ролями морфем  $P_1(t_1)$  и  $P_2(t_2)$ , а  $\lambda(t_1, t_2)$  исключает те связи, которые при этом не реализуются.

Рассмотрим пример взаимодействия корневых и суффиксальных морфем, в результате которого образуются производные отглагольные имена существительные. В частности, взаимодействие корневых морфем, входящих в состав полисемантических производящих основ, с суффиксальными морфемами, семантические роли которых частично совпадают. Для нашего случая формула (1) имеет вид

$$P_2(t_2) * P_3(t_3) = \lambda(t_2, t_3) \cdot P_2(t_2) \cdot P_3(t_3), \quad (2)$$

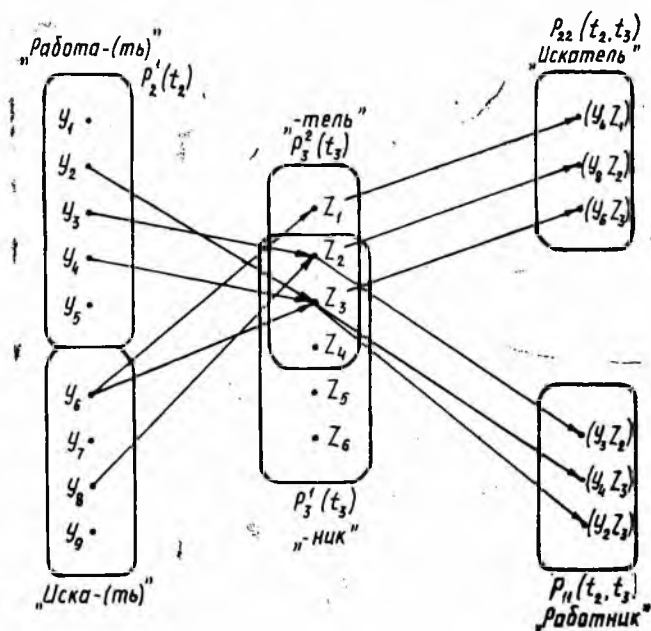
где  $P_2(t_2)$  — предикат, описывающий семантические роли корневой морфемы из множества  $M_2$  корневых морфем;  $P_3(t_3)$  — предикат, описывающий семантические роли суффиксальной морфемы из множества  $M_3$  суффиксальных морфем;  $\lambda(t_2, t_3)$  — предикат, равный 1, если семантические роли  $t_2$  и  $t_3$  согласуются и 0 в противном случае;  $t_2$  и  $t_3$  — переменные семантические роли корневых и суффиксальных морфем соответственно.

Рассмотрим конкретный пример образования производных многозначных слов «работник» и «искатель», полученных путем соединения полисемантических производящих глагольных основ «работа-ть» и «иска-ть» и суффиксальных морфем *-ник* и *-тель*, семантические роли которых частично совпадают, образуя своеобразное пересечение семантических ролей — компонентов «семантических облаков» этих морфем.

Основы «работа-ть» и «иска-ть» имеют семантические роли  $Y_1 \div Y_5$  и  $Y_6 \div Y_9$  соответственно [3]:  $Y_1$  — находиться в действии (завод работает),  $Y_2$  — заниматься чем-нибудь, применяя свой труд (работать в поле),  $Y_3$  — иметь занятие, должность, служить (работать на заводе),  $Y_4$  — обслуживать кого-нибудь своим трудом (работать на семью),  $Y_5$  — приводить в действие, управлять чем-нибудь (работать веслом),  $Y_6$  — стараться найти или обнаружить (искать книгу),  $Y_7$  — стараться получить (искать защиты, искать работы),  $Y_8$  — стремиться к чему-нибудь новому (ищущий художник),  $Y_9$  — предъявлять иск к кому-нибудь (спец).

Суффиксальная морфема *-тель* характеризуется следующими семантическими ролями:  $Z_1$  — предмет — субъект действия,  $Z_2$  — лицо — субъект действия, профессия,  $Z_3$  — лицо — субъект действия, не профессия,  $Z_4$  — предмет — орудие для выполнения действия.

Суффиксальная морфема *-ник* имеет следующие семантические роли;  $Z_5$  — животное, субъект действия,  $Z_6$  — место, помещение, а также семантические роли  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$ , которые являются общими для суффиксальных морфем *-тель* и *-ник*.



Сочетание семантических ролей

Сочетание семантических ролей (установление связей между семантическими ролями корневых морфов производящих основ «иска-ть», «работа-ть» и суффиксальных морфов *-тель*, *-ник*) удобно представить, как показано на рисунке.

В процессе словообразовательного акта при взаимодействии производящей основы «работать» и суффикса *-ник* образуется производное слово «работник», имеющее несколько лексических значений. Как видно, каждому значению этого слова соответствует определенная связь между семантическими ролями корневой и суффиксальной морфем. При образовании производного слова «работник» актуализируются три семантические связи, соответствующие трем смысловым значениям этого слова:  $Y_3Z_2$  — человек, работающий в какой-нибудь сфере трудовой деятельности (научный работник),  $Y_2Z_3$  — тот, кто работает, трудится (отличный

работник),  $Y_4Z_3$  — наемный сельскохозяйственный рабочий (хозяин и работник).

В случае же, когда в результате взаимодействия производящей основы «иска-ть» и суффиксальной морфемы *-тель* образуется производное слово «искатель», между семантическими ролями корневого и суффиксального морфов устанавливаются также три семантические связи, которые соответствуют трем смысловым значениям деривата «искатель»:  $Y_6Z_1$  — приспособление в различных приборах, облегчающее нахождение наблюдаемого предмета, какого-нибудь объекта искатель в фотоаппарате,  $Y_8Z_2$  — человек, стремящийся к новому, увлеченный исканиями,  $Y_6Z_3$  — тот, кто занят поисками, добыванием чего-нибудь, искатель жемчуга, искатель приключений.

Для того чтобы описать семантические связи, образующиеся между корневыми и суффиксальными морфами в нашем примере, воспользуемся формулой (2), где  $\lambda(t_2, t_3)$  для нашего примера имеет вид

$$\lambda(t_2, t_3) = t_{22}^y t_{33}^z \vee t_{23}^y t_{32}^z \vee t_{21}^y t_{33}^z \vee t_{26}^y t_{31}^z \vee t_{26}^y t_{33}^z \vee t_{25}^y t_{33}^z. \quad (3)$$

Множества семантических ролей производящих основ «работа-ть» и «иска-ть» будем описывать с помощью предикатов  $P_2^1(t_2)$  и  $P_2^2(t_2)$  соответственно:

$$P_2^1(t_2) = t_{21}^y \vee t_{22}^y \vee t_{23}^y \vee t_{24}^y \vee t_{25}^y; \quad (4)$$

$$P_2^2(t_2) = t_{26}^y \vee t_{27}^y \vee t_{28}^y \vee t_{29}^y.$$

Множества семантических ролей суффиксов можно описать с помощью предикатов  $P_3^1(t_3)$  и  $P_3^2(t_3)$  соответственно:

$$P_3^1(t_3) = t_{32}^z \vee t_{33}^z \vee t_{34}^z \vee t_{35}^z \vee t_{36}^z; \quad (5)$$

$$P_3^2(t_3) = t_{31}^z \vee t_{32}^z \vee t_{33}^z \vee t_{34}^z.$$

В процессе словообразования при соединении корневого морфа производящей основы «раба-ть» и суффикса *-ник* образуется производное слово «работник». Семантические связи, возникающие при этом, могут быть описаны с помощью предиката

$$P_{11}(t_2, t_3) = \lambda(t_2, t_3) \cdot P_2^1(t_2) \cdot P_3^1(t_3) = (t_{22}^y t_{33}^z \vee t_{23}^y t_{32}^z \vee t_{21}^y t_{33}^z \vee t_{26}^y t_{31}^z \vee t_{26}^y t_{33}^z \vee t_{25}^y t_{33}^z) (t_{21}^y \vee t_{22}^y \vee t_{23}^y \vee t_{24}^y \vee t_{25}^y) (t_{32}^z \vee t_{33}^z \vee t_{34}^z \vee t_{35}^z \vee t_{36}^z) = t_{22}^y t_{33}^z \vee t_{23}^y t_{32}^z \vee t_{21}^y t_{33}^z. \quad (6)$$

Полученный предикат  $P_{11}(t_2, t_3)$  является математической моделью межморфемных связей корневого и суффиксального морфов производной словоформы «работник».

Семантические связи, возникающие при сочетании производящей основы «иска-ть» и суффикса *-тель* в процессе словообразовательного акта, опишем с помощью предиката

$$P_{22}(t_2, t_3) = \lambda(t_2, t_3) \cdot P_2^2(t_2) \cdot P_3^2(t_3) = (t_{22}^y t_{33}^z \vee t_{23}^y t_{32}^z \vee t_{24}^y t_{33}^z \vee t_{25}^y t_{31}^z \vee t_{26}^y t_{33}^z \vee t_{28}^y t_{32}^z) \cdot (t_{26}^y \vee t_{27}^y \vee t_{28}^y \vee t_{29}^y) \cdot (t_{31}^z \vee t_{32}^z \vee t_{33}^z \vee t_{34}^z) = t_{26}^y t_{31}^z \vee t_{28}^y t_{33}^z \vee t_{28}^y t_{32}^z. \quad (7)$$

Предикат  $P_{22}(t_2, t_3)$  является математической моделью межморфемных семантических связей производного слова «искатель» на морфемном шве между корневым морфем производящей основы и словообразовательным суффиксом.

Если попытаться соединить производящую основу «работа-ть» и суффикс *-тель*, семантические роли которых описываются предикатами  $P_2^1(t_2)$  и  $P_3^3(t_3)$ , то можно убедиться, что при этом «правильная» словоформа не образуется, так как нормы русского языка не допускают образования производного слова «работатель», хотя семантические связи вполне позволяют сформировать на выходе системы такую «неправильную» словоформу. Формирование связей, возникающих в этом случае, можно описать с помощью формулы

$$P_{12}(t_2, t_3) = \lambda(t_2, t_3) \cdot P_2^1(t_2) \cdot P_3^3(t_3) = (t_{22}^y t_{33}^z \vee t_{23}^y t_{32}^z \vee t_{24}^y t_{33}^z \vee t_{25}^y t_{31}^z \vee t_{26}^y t_{33}^z \vee t_{28}^y t_{32}^z) \cdot (t_{21}^y \vee t_{22}^y \vee t_{23}^y \vee t_{24}^y \vee t_{25}^y) \cdot (t_{31}^z \vee t_{32}^z \vee t_{33}^z \vee t_{34}^z) = t_{22}^y t_{33}^z \vee t_{22}^y t_{32}^z \vee t_{24}^y t_{33}^z. \quad (8)$$

Таким образом, мы получили для «неправильной» с формальной точки зрения словоформы «работатель» те же семантические связи и те же смысловые значения слова, что и для словоформы «работник».

Учитывая изложенное, можно сделать вывод, что без привлечения дополнительных признаков, характеризующих формальную сочетаемость производящих основ и словообразовательных суффиксов, невозможно однозначно сформировать словоформу на выходе системы, имея на входе только рассмотренные выше множества семантических ролей морфем. Для устранения возникающей неоднозначности необходимо ввести признак класса основ, который характеризует способность основ данного класса сочетаться с определенной группой суффиксов и не сочетаться со всеми остальными. Введение этого признака и использование его при формализации семантической сочетаемости морфем дает возможность избавиться от неоднозначности.

Полученные в данной работе уравнения описывают межморфемные отношения на семантическом уровне между полисемантическими производящими основами и деривационными суффиксами и являются частью математической модели межморфемных связей.

Список литературы: 1. Шаронова Н. В. Математические модели суффиксального словообразования и их использование для автоматической обработки отглагольных имен существительных в текстах русского языка: канд. дис. X., 1984. 219 с. 2. Ожegov С. В. Словарь русского языка. М., 1988. 749 с. 3. Цыганенко Г. П. Состав слова и словообразование в русском языке. К., 1978. 151 с.

Поступила в редколлегию 10.05.90

УДК 510.62

А. Ф. ОСЫКА, канд. техн. наук, О. А. КРАВЕЦ

### К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЛОВ

Одной из важных проблем, возникающих при создании систем машинного анализа и синтеза текстов на естественном языке, является формирование семантических признаков, которые сопоставляются словам в машинных словарях и используются при обработке связных текстов.

Роль семантического признака слова состоит в том, что он обозначает понятие и позволяет установить соответствие между этим понятием и конкретным объектом, признаком, действием или обстоятельством действия. Выбор семантических признаков зависит от предметной области, а также от структуры обрабатываемых текстов [1, 2]. В связи с этим в семантический признак слова заносится информация, которая обеспечивает распознавание осмысленности словосочетания или фразы, а также связь со знаниями о предметной области. Например, если речь идет о системе ввода запросов на естественном языке в базу данных, то семантические признаки слов определяются структурой самой базы данных, а также типами запросов, которые могут поступать в базу данных.

Структура семантического кода слова существенно зависит от используемого в данной системе семантического языка. В качестве такого языка наиболее часто применяются глубинные падежи, фреймы, язык исчисления предикатов первого порядка и т. д. [3, 4]. Семантический признак слова может иметь сложную структуру. Например, он может представлять собой семантическую сеть [5]. Но с целью ссылки на этот признак в словаре системы его целесообразно кодировать единым символом. Поэтому далее семантические признаки слов будут обозначаться отдельными символами.

В связи с ограниченностью машинных ресурсов в настоящее время автоматическая обработка смысла текста возможна лишь в заданной предметной области. При первоначальной настройке системы обработки текстов на некоторую предметную область разработчик лингвистического обеспечения снабжает словарные единицы системы выбранными семантическими признаками, по-

лученными на основе анализа объектов, их свойств и отношений в данной предметной области, а также анализа некоторого корпуса текстов, которые предположительно могут поступать от неподготовленных пользователей системы. В результате образуется множество  $M$ , которое имеет следующую структуру:  $M = M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_n$ , где  $M_i (i = \overline{1, n})$  — множество слов и их семантических признаков, выполняющих одинаковую смысловую роль во фразе. Примерами таких ролей могут служить действие, его объект или субъект, а также более специальные роли, связанные, например, со структурой данных в базах данных. Причем  $M_i$  может рассматриваться как множество семантических кодов, соответствующих роли  $i$  в семантическом представлении текста, и как множество слов, которым сопоставлены эти коды в словаре.

Каждое  $M_i$  состоит из одного или нескольких подмножеств, объединяющих синонимические выражения. Всем таким выражениям ставится в соответствие единый семантический признак  $M_{ij}$ . Множество  $M$  слов и их признаков, которые первоначально включаются в словарь системы, можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} M_1 = M_{11} \cup M_{12} \cup \dots \cup M_{1l_1}, \\ M_2 = M_{21} \cup M_{22} \cup \dots \cup M_{2l_2}, \\ \dots \\ M_n = M_{n1} \cup M_{n2} \cup \dots \cup M_{nl_n}, \end{cases}$$

где элементами подмножеств  $M_{ij}$  являются слова или словосочетания с общим признаком  $M_{ij}$ , который выражает лексическое значение элемента и его роль в предложении; а также,  $\forall j, k = \overline{1, l_i}, j \neq k, M_{ij} \cap M_{ik} = \emptyset$ .

Остановимся на втором условии, в соответствии с которым различные множества синонимичных выражений не могут иметь общих элементов. Для произвольных текстов это слишком сильное ограничение, что видно из последовательности слов: гений, талант, способный человек, неглупый человек, не дурак, посредственность, тупица, дебил. Крайние слова этой последовательности не только не являются синонимами, но и имеют противоположное значение. Однако любые два соседних слова из приведенного перечня близки по смыслу. Таким образом, в общем случае отношение синонимии между парой слов не обладает свойством транзитивности. Это означает, что оно не является отношением эквивалентности и не может дать разбиения множеств  $M_i$  на непересекающиеся подмножества  $M_{ij}$ .

В приведенном примере лексические значения элементов последовательности отличаются степенью наличия некоторого качества (в данном случае — умственных способностей). Количество этого качества в различных объектах может изменяться непрерывно. С этим связаны нечеткость значений приведенных слов и словосочетаний, а также практически непрерывный переход значений одних слов в другие.

В технических системах обработки текстов, соотносимых с формальной моделью предметной области, ситуация несколько изменится. Модель предметной области всегда имеет дискретный характер. Объекты, их свойства и отношения всегда четко определены, отличимы и противопоставлены друг другу. В связи с этим любые словесные формулировки, обозначающие некоторый объект или его свойство, имеют одинаковое значение в рамках данной предметной области и противопоставлены словесным обозначениям других объектов и свойств. Поэтому слова и словосочетания, описывающие один объект или свойство, образуют в машинных системах классы смысловой эквивалентности.

Изложенное выше не означает, что в технических системах не могут быть представлены и получить словесное выражение признаки объектов, принимающие непрерывное значение. Предположим, некоторая система располагает  $m$  объектами, каждый из которых обладает той или иной степенью следующих признаков:  $a_1$  — умный,  $a_2$  — молодой,  $a_3$  — высокий,  $a_4$  — тяжелый. Это означает, что в модели предметной области для указанных объектов заданы отношения частичного порядка по выделенным признакам:  $a_{11} \leq a_{12} \leq \dots \leq a_{1m}$ ,  $a_{21} \leq a_{22} \leq \dots \leq a_{2m}$ ,  $a_{31} \leq a_{32} \leq \dots \leq a_{3m}$ ,  $a_{41} \leq a_{42} \leq \dots \leq a_{4m}$ .

Тогда элементы запросов типа «более высокий», «ниже», «умнее», «самый тяжелый» указывают на конкретное отношение между парой объектов или на граничный элемент этого отношения. Слова «гений», «мальчик», «великан» характеризуют положение элементов  $a_{1p}$ ,  $a_{2q}$ ,  $a_{3k}$  ( $p, q, k = \overline{1, m}$ ) в соответствующих шкалах без привязки к другим элементам. Они сопоставляются объекту в словаре системы и характеризуют его однозначно. Если такое слово используется неподготовленным пользователем системы для обозначения другого объекта, необходима переформулировка запроса.

На вход системы обработки естественного языка могут поступать тексты, в которых содержатся слова, отсутствующие в машинном словаре. Для анализа таких слов им необходимо приписать семантические признаки и поместить в машинный словарь. Сведения о новом слове система может получить только от человека. Представляется целесообразным такой подход к приписыванию словам семантических признаков, при котором система осуществляет это в процессе диалога с пользователем, от которого поступил текст. При этом не предполагается, что пользователь знает структуру системы или используемые признаки слов. Вопросы системы должны быть сформулированы так, чтобы человек мог ответить утвердительно либо отрицательно, полагаясь только на свою языковую интуицию.

При формировании семантического признака может оказаться, что новое слово имеет одну из ранее выявленных семантических ролей  $M_i$  и является синонимом одного или нескольких слов, помещенных в словарь с признаком  $M_{ij}$ . Тогда и новому слову приписывается этот же признак. Возможен случай, когда при установ-

ленной роли  $M_i$  для нового слова не имеется синонимов в словаре. Тогда требуется организация еще одного класса эквивалентности с единственным элементом — новым словом, которому приписывается признак  $M_{ij}(j > l_i)$ . Рассмотрим случай, когда для нового семантически значимого слова среди имеющегося множества ролей не находится ни одной подходящей роли  $M_i$ . Под семантически значимым понимается слово во входном тексте, которому соответствует какой-нибудь элемент в словаре системы. Поэтому слова «пожалуйста», «побыстрее» и т. п. семантически значимыми не являются. Отсутствие подходящей роли для семантически значимого слова означало бы, что для некоторого вида выполняемых системой действий отсутствует соответствующее обозначение в виде семантической роли. Однако при введении новой функции системы или реквизита данных разработчик должен позаботиться о том, чтобы эта функция или реквизит были доступны пользователю. Поэтому появление новых возможностей исполнительного механизма должно сопровождаться обязательным формированием нового семантического класса  $M_i(i > n)$ , в котором должен содержаться хотя бы один класс эквивалентности, сформированный лицом, сопровождающим систему.

В данной работе исследуются некоторые вопросы, связанные с построением процедуры приписания семантических признаков новым словоформам в соответствии с изложенной выше постановкой. Возможный подход к формированию такой процедуры рассмотрим на примере системы, анализирующей команды пользователя, связанные с перемещением трех геометрических фигур — шара, конуса и куба.

Исходя из установленных правил, разрешается манипулировать выбранными объектами на бесконечной поверхности, расположенной горизонтально. На эту поверхность нанесена воображаемая система координат, ось абсцисс которой перпендикулярна линии взора пользователя, а ось ординат параллельна ей. Пользователь может подать любую команду, задающую относительное расположение двух фигур параллельно координатным осям. Не допускаются повороты фигур на любой угол относительно прямой, перпендикулярной рабочей поверхности. При каждой перестановке объекты должны касаться друг друга. Задача заключается в выборе такого набора семантических признаков, который обеспечивал бы успешное проведение анализа разнообразных команд пользователя.

Чтобы система могла успешно функционировать, требуется произвести ее предварительное обучение. Для этого до начала работы системы разработчик лингвистического обеспечения анализирует некоторый набор возможных команд пользователя, с тем чтобы сопоставить отдельным фрагментам этих команд (словам или словосочетаниям) признаки элементов действий, выполняемых системой. Предположим, этот набор состоит из четырех фраз: *Разместить куб левее шара, Шар поместить справа от конуса, Спереди от конуса поставить куб, Расположить по-*

*зати куба конус.* Анализ этого множества команд позволяет лингвисту выделить четыре класса слов, причем элементы каждого класса присутствуют в любой команде.

Первый класс  $V$  включает в себя словоформы, обозначающие непосредственно вид действия. В данном случае элементами этого класса являются только глаголы в неопределенной форме. Однако, вообще говоря, здесь могут присутствовать и другие элементы естественного языка. Все глаголы в четырех анализируемых фразах являются синонимами с точки зрения действий, выполняемых в данном примере, поэтому они войдут в один класс эквивалентности  $V_1$ . Пусть  $v_{11}$  — разместить,  $v_{12}$  — поместить,  $v_{13}$  — поставить,  $v_{14}$  — расположить. Тогда  $V = V_1 = \{v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}\}$ .

Второй класс  $F$  состоит из названий трех геометрических фигур, выступающих в качестве объектов выполняемых действий. Эти объекты образуют три класса эквивалентности, в каждом из которых находится по одному элементу. Обозначим  $f_{11}$  — куб,  $f_{21}$  — шар,  $f_{31}$  — конус. Тогда  $F = F_1 \cup F_2 \cup F_3$ , где  $F_1 = \{f_{11}\}$ ,  $F_2 = \{f_{21}\}$ ,  $F_3 = \{f_{31}\}$ .

При описании предметной области человек использует некоторый набор отношений, которые связывают между собой объекты внешнего мира. Можно выделить количественные, признаковые, каузальные и другие отношения [3]. Для формализации действий с геометрическими фигурами представляют интерес отношения, указывающие на взаимное расположение объектов в некотором пространстве. Для их представления требуются математические категории направления, ширины, длины и т. д. В результате анализа предложенных команд можно выделить класс  $R$  слов, описывающих направление действия по отношению к некоторому объекту:  $R = R_1 \cup R_2 \cup R_3 \cup R_4$ , где  $R_1 = \{r_{11}\} = \{\text{левее}\}$ ,  $R_2 = \{r_{21}\} = \{\text{справа от}\}$ ,  $R_3 = \{r_{31}\} = \{\text{спереди от}\}$ ,  $R_4 = \{r_{41}\} = \{\text{позади}\}$ .

Следующий класс  $P$  формируется из так называемых объектов-ориентиров — геометрических фигур, относительно которых перемещаются объекты действия:  $P = P_1 \cup P_2 \cup P_3$ , где  $P_1 = \{p_{11}\} = \{\text{шар}\}$ ,  $P_2 = \{p_{21}\} = \{\text{конус}\}$ ,  $P_3 = \{p_{31}\} = \{\text{куб}\}$ .

Таким образом, множество  $M$  в данном случае состоит из четырех элементов, где  $M_1 = V$ ,  $M_2 = F$ ,  $M_3 = R$ ,  $M_4 = P$ .

Наличие в команде элементов каждого из четырех установленных выше классов обязательно, так как без любого из них она теряет смысл. В рамках каждого класса эти элементы взаимозаменяемы. Однако замена любого слова команды словом или словосочетанием из другого множества, как правило, приводит к ее обесмысливанию. Например, команда *Поместить левее позади шара* не может быть выподнена, так как она противоречит нормам русского языка.

Отметим, что сущность замен элементов внутри множеств  $F$ ,  $R$ ,  $P$  и  $V$  различна. Поскольку для данного примера глаголы класса  $V$  являются синонимами, их взаимные замены не влияют на

суть действия, которое необходимо выполнить. При смене любого из элементов множеств  $F$ ,  $R$ ,  $P$  значение команды меняется.

Рассмотрим, как работает система, получив от пользователя команду поместить некоторую геометрическую фигуру на определенное место поверхности по отношению к другой фигуре. Вначале система выясняет, все ли слова команды она в состоянии идентифицировать. Отрицательный результат дает ей повод обратиться к пользователю с предложением объяснить одно или несколько незнакомых слов полученной фразы.

Предложим, на вход системы поступила команда  $\alpha$ : разместить куб правее конуса. Все ее слова будут идентифицированы, кроме словоформы «правее». Поскольку в команде не выявлен только элемент класса  $R$ , неизвестная словоформа должна принадлежать этому классу. В противном случае команда не может быть выполнена. Первым шагом при проверке принадлежности незнакомого слова множеству  $R$  является построение диагностической фразы, в которой все идентифицированные слова команды сохраняют свой порядок следования, а на месте незнакомой словоформы оставляется свободное место. Эта диагностическая фраза, обозначаемая  $d_3$ , выглядит следующим образом: *Разместить куб*  $\square$  *конуса.*

После этого система выбирает из множества  $R$  какой-нибудь элемент (например, первый) и помещает его на свободное место диагностической фразы  $d_3$ . В результате получается выражение  $w_{31}$ : *Разместить куб левее конуса.*

Теперь система обращается к пользователю с вопросом о том, имеет ли  $w_{31}$  сходный смысл с исходной командой  $\alpha$ . Предварительно человеку разъясняется, что нужно подразумевать под выражением «сходный смысл». Для этого система выдает, например, следующее сообщение  $s_3$ . Полагаяем, что фразы:

*Поставить конус левее шара и поставить конус позади шара*  
имеют сходный смысл.

В этом сообщении элементы множеств  $V$ ,  $F$  и  $P$  одинаковы для двух фраз, а элементы множества  $R$  принадлежат разным классам эквивалентности. После выведения  $s_3$  пользователю предъявляется вопрос: *Имеют ли сходный смысл фразы:*

*Разместить куб левее конуса и Разместить куб правее конуса?*

Получив положительный ответ, система имеет основание занести словоформу «правее» в класс  $R$ . Для введения указанной словоформы в конкретный класс эквивалентности необходимо вновь применить диагностическую фразу  $d_3$ . При подстановке на ее свободное место представителей классов эквивалентности  $R_j$  ( $j = \overline{1, l_3}$ ) получаются фразы  $w_{3j}$ , которые система предъявляет пользователю для сравнения с командой  $\alpha$ . Пользователь должен ответить,

обладают ли  $w_j$  и  $a$  одинаковым смыслом. Элементы множества  $R$  перебираются в порядке возрастания номеров классов эквивалентности. Поэтому вопрос, на который человек ответит утвердительно, поступит вторым. Он формулируется так: имеют ли одинаковый смысл фразы:

*Разместить куб справа от конуса и Разместить куб правее конуса?*

Каждое новое слово после установления его значения вносится в список элементов соответствующего класса. При этом оно либо входит в класс эквивалентности своего синонима, либо образует свое подмножество с номером  $\max(l_i) + 1$ . В данном примере во множестве  $R$  нашелся элемент  $r_{21}$ , принадлежащий классу  $R_2$ , при подстановке которого в диагностическую фразу она совпала по смыслу с поступившей командой. По этой причине не идентифицированное ранее слово «правее» становится элементом  $r_{22}$  уже существующего класса эквивалентности  $R_2$ . Множество  $R$  теперь приобретает новый вид

$$R = \{r_{11}\} \cup \{r_{21}, r_{22}\} \cup \{r_{31}\} \cup \{r_{41}\}.$$

Обобщим приведенную выше процедуру на анализ любой команды  $\beta$ . Опишем алгоритм функционирования системы, когда в команде не идентифицировано одно из слов  $x$ , которое может быть элементом множеств  $M_1, M_2, \dots, M_n$ .

1. Установление принадлежности  $x$  одному из  $M_i (i = \overline{1, n})$ .
2. Формирование диагностической фразы  $d_i$ .
3. Образование  $w_{i1}$  путем подстановки первого элемента множества  $M_i$  в  $d_i$ .
4. Пояснение пользователю значения выражения «сходный смысл».

Вывод с этой целью сообщения  $s_i$ .

5. Вопрос: *Имеют ли сходный смысл  $w_{i1}$  и  $\beta$ ?*

Ответ: Нет — прекращение работы. Команда не выполняема.

Ответ: Да — переход к п. 6.

6.  $z = 1$ .

7. Вопрос: *Имеют ли одинаковый смысл  $w_{iz}$  и  $\beta$ ?*

Ответ: Да —  $x$  становится элементом  $M_{iz}$ .

Ответ: Нет — переход к п. 8.

8.  $z = z + 1$ .

9. Если  $z \neq l_i + 1$ , то образование  $w_{iz}$  и возврат к п. 7; в противном случае — формирование нового класса эквивалентности  $M_{iz} = \{x\}$ .

Обозначим приведенный алгоритм через  $A$ . Проследим этапы его работы при измененных условиях функционирования системы. Пусть теперь манипуляции с тремя геометрическими фигурами разрешено производить не на поверхности, а в пространстве. Другими словами, к четырем существующим классам пространственных отношений добавляется пятый, который описывает размещение некоторого объекта сверху другого.

Пусть на вход поступила команда, расположить шар сверху куба. Система выполняет следующие действия:

1. Определяет, что в ее словаре содержатся все слова команды, кроме слова из множества  $R$ .

2. Формирует диагностическую фразу  $d_3$ : *Расположить шар |\_\_| куба.*

3. Образует  $w_{31}$ : *Расположить шар левее куба.*

4. Выводит сообщение  $s_3$ : Полагаем, что фразы *Поставить конус левее шара* и *Поставить конус позади шара* имеют сходный смысл.

5. Задает вопрос пользователю: Имеют ли сходный смысл фразы *Расположить шар левее куба* и *Расположить шар сверху куба*? Получает ответ: Да.

6. Имеют ли одинаковый смысл фразы *Расположить шар левее куба* и *Расположить шар сверху куба*? — Нет.

7. Образует  $w_{32}$ : *Расположить шар справа от куба.*

8. Имеют ли одинаковый смысл фразы *Расположить шар справа от куба* и *Расположить шар сверху куба*? — Нет.

9. Образует  $w_{33}$ : *Расположить шар спереди от куба.*

10. Имеют ли одинаковый смысл фразы *Расположить шар спереди от куба* и *Расположить шар сверху куба*? — Нет.

11. Образует  $w_{34}$ : *Расположить шар позади куба.*

12. Имеют ли одинаковый смысл фразы *Расположить шар позади куба* и *Расположить шар сверху куба*? — Нет.

13. Формирует новый класс эквивалентности  $M_{35} = R_5 = \{r_{51}\} = \{\text{сверху}\}$ .

Алгоритм  $A$  применим и в том случае, когда в команде не идентифицированы два или более слов. Он используется столько раз, сколько слов не удалось понять системе. Для сокращения вариантов подстановок в диагностические фразы слова следует отбирать с учетом их морфологических признаков.

Предположим теперь, что при манипулировании геометрическими фигурами разрешается поворачивать их на  $180^\circ$  вокруг горизонтальной оси, причем переворачивать можно только перемещаемые в соответствии с прежними условиями объекты.

Появление новых возможностей исполнительного механизма системы сопровождается образованием нового семантического класса  $M_5$ . В нем должен содержаться хотя бы один класс эквивалентности, о формировании которого обязан позаботиться разработчик лингвистического обеспечения системы. Проанализировав одну из возможных команд пользователя *Поместить повернутый на  $180^\circ$  шар левее конуса*, можно выделить элемент  $t_{11}$  — *повернутый на  $180^\circ$*  и приписать его классу эквивалентности  $T_1$ . С учетом появления нового класса  $T = M_5$  изменилась структура множества  $M$ . Теперь его можно представить в следующем виде:  $M = VFURUPUT$ .

Дополнительные возможности манипулирования объектами делают неопределенной фреймовую структуру команд пользователя. Если в первых двух случаях для представления команды было достаточно одного фрейма  $\Phi_1 = \{V, F, R, P\}$ , то теперь появилась возможность выполнения новых действий и ввода новых типов

команд. Из-за этого затрудняется работа с алгоритмом  $A$  пополнения уже существующих и образования дополнительных классов эквивалентности. Это происходит из-за невозможности образования диагностических фраз единого типа для всевозможных команд пользователя.

При измененных условиях работы системы команды пользователя могут быть представлены тремя фреймами:  $\Phi_1, \Phi_2 = \{V, F, R, P, T\}$  и  $\Phi_3 = \{T, F\}$ . Фрейм  $\Phi_2$  реализуется в команде *Разместить перевернутый куб справа от конуса*, а  $\Phi_3$  — в команде *Перевернуть шар*. Предположим, система получает некоторую команду и идентифицирует такие ее слова, по которым однозначно определяется ее фреймовая структура. Тогда приписание семантических признаков незнакомым словоформам сводится к выполнению алгоритма  $A$ . В противном случае пользователь получает сообщение о том, что его команда не может быть выполнена, так как система не обладает достаточным объемом знаний для проведения ее анализа.

В заключение перечислим действия, выполняемые системой для анализа некоторой команды пользователя.

1. Идентификация словоформ команд с целью установления ее фреймовой структуры.

2. Если фреймовая структура определена однозначно, переход к п. 4; в противном случае — к п. 3.

3. Применение дополнительной процедуры снятия фреймовой неоднозначности, разработка которой не входит в рамки данного исследования.

4. Установление числа  $y$  незнакомых слов команды.

5. Если  $y = 1$ , переход к п. 7.

6. Проведение морфологического анализа  $y$  незнакомых словоформ с целью увеличить вероятность их правильной подстановки в диагностические фразы.

7. Применение алгоритма  $A$   $y$  раз с последовательной подстановкой каждого незнакомого слова в диагностические фразы.

Процедура формирования и пополнения классов семантических признаков может быть использована в машинных системах обработки естественного языка, основанных на дискретной модели предметной области, включающей значительное число объектов и отношений между ними.

**Список литературы:** 1. Апресян Ю. Д. Лексическая семантика. М., 1974. 324 с.  
2. Диалоговые системы в АСУ//Под ред. Поспелова Д. А. М., 1983. 204 с.  
3. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М., 1986. 288 с.  
4. Попов Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке. М., 1982. 360 с.  
5. Шенк Р. Обработка концептуальной информации. М., 1980. 358 с.

Поступила в редколлегию 14.02.90.

Н. В. РЯБОВА, канд. техн. наук

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕМАНТИКИ ПРОИЗВОДНЫХ СЛОВ РУССКОГО ЯЗЫКА

Разработка методики формализованного описания семантических закономерностей различных языковых уровней, и в частности моделирования семантики на уровне отдельных слов, приобретает особую актуальность в связи с проектированием ЭВМ пятого поколения, которые обеспечат общение пользователя с компьютером на естественном языке. Первым этапом исследования механизма формирования смысла производного слова является изучение его смысловой структуры и взаимодействия смысловых компонентов, влияющих на формирование семантики производного слова (derivata). Заметим, что производное слово, в отличие от простого слова, передает свое значение посредством указания на другое, уже имеющееся в языке наименование и черпает свое значение из мотивирующего его слова. В этом смысле оно выступает как вторичное, обусловленное другим знаком языка. С формальной точки зрения это находит свое выражение в том, что в морфологической структуре производного всегда содержатся знаки или часть знаков (в зависимости от типа производной единицы), которые входят в производящую единицу и могут быть по этой причине использованы для объяснения единицы производной.

Отличительным признаком производного слова является именно его связанность с другим словом и его семантическая обусловленность этим другим словом. Производные слова характеризуют еще как слова с «двойной референцией» (проще — отношением): референцией к миру действительности, типичной для класса слов вообще, и референцией к миру слов, типичной для вторичных единиц номинации [1, с. 11]. Свойство двойной референции производного слова имеет важные последствия для разработки принципов описания семантики производных слов. Наличие собственного лексического значения у производного заставляет считать его отдельным наименованием, которое может затем запоминаться говорящим как самостоятельный номинативный знак. Это ведет также к необходимости зафиксировать производное слово в словаре и дать ему лексикографическое, т. е. интерпретационное истолкование.

В то же время возможность объяснить индивидуальное значение данного слова через другое слово (понятие) и через отношение к обозначенной этим последним реалии ставит вопрос о необходимости описания таких фактов в виде системных, т. е. отражающих регулярно повторяющиеся семантические связи между однокорневыми образованиями.

Итак, наличие собственного значения у производного слова вынуждает рассматривать его как более или менее самостоятельную лексическую единицу, а наличие у него референтного (отсылающего к другому референту) значения — напротив, рассматривать дериваты в числе вторичных единиц номинации и предусмотреть упрощение их семантического описания путем отсылки к первичным для них знакам. В лингвистических исследованиях последних лет сделаны попытки формализованного описания структуры производного слова [1—5]. Так, Е. С. Кубрякова в работе [1, с. 12] пишет: «Словообразовательное истолкование производного слова связано с представлением его смысловой структуры такой дефиницией, которая включает в качестве своей составной части мотивирующее слово. Оно коррелирует с основой производного слова. Дефиниция производного включает, помимо мотивирующего слова, и другие компоненты, представляя собой такую перифразу производного, которая семантически ему эквивалентна и которая выявляет все его значения в форме расчлененной эксплицитной номинации». Однако семантическая дефиниция не полна и без указания на тот тип связи, который фиксирует производное слово относительно производящего. При объяснении, например, производного типа *школьник* мы должны прибегнуть к дефиниции «*тот, кто учится в школе*» (а не, скажем, «*учащийся школы*»), ибо должны отразить в ней не столько факт наличия связи со школой, сколько тип этого отношения (*учится — где*) и его характер (*в школе — учится*). Содержание, передаваемое производным, расчленено, поскольку предметное значение выражено суффиксом *-ник*, а основа *школь-* указывает на место производимого действия.

Приведенный пример помогает понять, какую важную роль играют в семантической интерпретации производного компоненты, не находящие в его собственной морфологической структуре никакого материального выражения. Из этого следует, что адекватное определение мотивированной единицы не может быть исчерпано простой отсылкой к мотивирующей единице, т. е. сведено к указанию на наличие отношений между ними. Ведь и *чернота*, и *чернила*, и *черника* равно отсылают к прилагательному *черный*, но имеют разные значения. Каждое производное имеет собственное значение именно потому, что оно выражает особое отношение к мотивирующему слову. Это свидетельствует о том, что при формализации семантической структуры производного слова необходимо учитывать не только само наличие связи, но и конкретизируемый производным словом тип этой связи или ее направления.

Таким образом, производные слова в отличие от простых обусловлены другими словами и представляют собой вторичные номинативные знаки. Непременным компонентом семантики производных слов является словообразовательное значение. Оно определяется как «обобщенное, категориальное значение производных слов определенной словообразовательной структуры, устанавливаемое на основании семантического соотношения производных

слов данной структуры с соответствующими производящими» [4, с. 92]. Различают словообразовательные значения (СЗ) основные, общие и более узкие, частные, выделяемые в рамках основных словообразовательных значений (иногда их называют также значениями второго порядка или лексико-словообразовательными значениями). Основные СЗ характеризуются высокой степенью отвлеченности, обобщенности. Частные же СЗ являются менее отвлеченными, более конкретными и относятся к общим значениям как к родовым. Они в известной мере приближаются к индивидуальным, лексическим значениям, занимают как бы промежуточное положение между лексическими и словообразовательными значениями (ввиду чего и называются лексико-семантическими значениями).

Несмотря на кажущееся сходство словообразовательных значений с лексическими значениями производных слов, они коренным образом различаются между собой. Принципиальное различие состоит в том, что лексические значения характеризуют отдельные слова, т. е. каждое слово имеет свое лексическое значение или определенный набор лексических значений и оттенков значений (например: *железный* — «относящийся к железу, состоящий, изготовленный из железа, содержащий железо, похожий на железо ...», *медный* — «относящийся к меди, состоящий, изготовленный из меди, содержащий медь, похожий на медь ...»), словообразовательные же значения характерны для целых групп, рядов, категорий производных слов, однородных в структурном отношении, построенных по определенным словообразовательным моделям (например: *железный, медный* — «относящийся к тому, состоящий, изготовленный из того, содержащий то, похожий на то, что обозначено производящим словом»).

Наличие у производных слов словообразовательных значений позволяет определить понятие словообразовательной структуры слова как «свойство, которое зависит не только от характера производящей базы и словообразующего форманта, но также от семантических признаков производного слова, его словообразовательных значений [4, с. 93]. Таким образом, результатом формализации семантической структуры дериватов должно быть выявление системы словообразовательных значений на рассматриваемом множестве аффиксальных морфем. Для этого необходимо выявить, проанализировать и систематизировать семантические взаимоотношения производящих и производных слов. Задача эта довольно объемная и трудноформализуемая, поскольку отношения такого рода чрезвычайно многообразны.

Можно утверждать, что смысловая структура производного слова определяется двумя величинами — выбранным источником деривации и преобразующей его в желаемом направлении формальной операцией [1]. Важной чертой семантики производного слова, связанной с бинарностью его смысловой структуры и помогающей понять место производного слова в иерархии лингвистических единиц с точки зрения осуществляемых ими номинатив-

ных функций, является расчлененность передаваемого содержания и сложный, составной, комплексный характер его семантики. Следствием расчлененности содержания производного слова является его принципиальная неэлементарность как составленность из нескольких значений, два из которых, по крайней мере, имеют специальную форму своего выражения. Таким образом, семантику производных слов можно рассматривать как сложную функцию семантики их составляющих и грамматических отношений между ними.

Необходимо привести некоторые соображения по поводу различия в семантике производных и непроизводных слов, поскольку в современном языкознании широко представлены концепции, затемняющие указанное различие или отрицающие его релевантность. Между тем внесение ясности в этот вопрос чрезвычайно актуально в плане формальной экспликации на ЭВМ лексико-семантических моделей языка. Сравнение простых и производных слов демонстрирует, что их различие лингвистически маркировано в различиях способа оформления одного и того же содержания, то есть раздельной выраженностью того, что в ином случае передается нераздельно. В работе [1] приводится по этому поводу характерный пример. В слове *топор*, как и в словах *сеялка*, *велька*, *молотилка*, передается одно орудийное значение «*то, чем ...*». Семантика всех этих слов может быть одинаково описана указанием на то действие, которое данное орудие производит. Однако в морфологической структуре слова *топор* подобное действие (колоть, рубить,) никак не обозначено: лексема передает свое значение нерасчлененно. При разложении значения этого слова на семантические признаки приходится констатировать, что ни один содержательный признак (кроме грамматических) не находит отдельного выражения. В этом смысле семантическая структура простого слова существует как обозначение такой совокупности признаков, в которой ни одному из них нельзя приписать автономной сущности. Подобная совокупность целостна и интегративна, то есть она противопоставлена другому, аналогичному объединению именно по связанной совокупности признаков. Лексическое значение и значение семантического разряда (орудийных наименований) здесь неразделимы.

Напротив, поскольку в словах типа *сеялка*, *велька*, *колун* и т. п. предметы и понятия о них обозначены через прямое указание на выполняемое ими действие, а сами значения «действие или орудие действия» выражены по отдельности, наименование предстает как семантически расчлененное. Слово *топор* существует в языке безотносительно к названию осуществляемого им действия, синонимичное же ему *колун*, наоборот, соотносительно с обозначением такого действия. Дефиниция его — «*орудие для колки дров*», «*то, чем колуют*» — показывает на отношение орудия действия к производимому им действию.

Таким образом, семантика производного слова должна описываться посредством формализации его смысловой структуры.

Первоначальным этапом такого описания должно стать изучение и анализ взаимозависимости структурных элементов, выявление конкретных элементов смысла и их сочетаний, передаваемых дериватами с различной семантической структурой. Такие исследования были проведены в работе [6]. В результате получено эксплицитное описание семантической сочетаемости производящих основ и деривационных суффиксов, то есть проведена типология семантических структур по их элементному составу. С помощью разработанной системы пробных текстов сформировано множество смысловых оттенков как элементов смысла, передаваемых определенными типами смысловых структур. При этом пробные тексты конструировались таким образом, чтобы были четко выделены: мотивирующая основа *Z*, деривационный аффикс *У* и дополняющая часть значения, возникающая при взаимодействии *ZУ*. В результате анализа полученного множества пробных текстов были выявлены, в частности, следующие особенности семантики производных существительных. Как известно, словообразовательное значение существительных, мотивированных существительными, очень широко — «предмет, имеющий отношение к другому предмету, названному производящей основой». Однако предмет по отношению к другому предмету может быть содержимым, вместилищем, материалом (из которого изготовлен другой предмет), его внешней приметой. Вид отношения чаще всего никак не сигнализируется значением составляющих.

Кроме того, поскольку мотивирующее существительное нередко в составе производного выражает отношение к действию, значение действия оказывается вне формальных показателей, например: *газетчик, книжник, сапожник, медалист* и т. д. Важным обстоятельством для моделирования семантики субстантива является то обстоятельство, что при широком неконкретизированном словообразовательном значении производные отсубстантивные существительные имеют очень конкретные лексические значения. Таким образом, семантика производного в значительной степени определяется типом значения производящего слова. При этом слово в разных своих значениях может мотивироваться одним и тем же значением мотивирующего слова. Таковы, например, существительные со значением живого существа и неодушевленного предмета: *истребитель, птичник, ягодник* и т. п.

Для формализации подобного рода явлений в работе [6] проанализирована зависимость контекстного значения словообразовательного суффикса от лексического значения мотивирующей основы и предложена классификация лексико-семантических групп для производящих основ и производных существительных. Таким образом, исследован вопрос о согласовании смыслов внутри деривата, в частности, какие значения мотивирующего слова оказываются совместимыми со значениями нового класса обозначений, а значит, сохраненными в структуре деривата.

С помощью выделенного множества семантических оттенков сформирована система семантических признаков по методике, опи-

санной в [6]. Опираясь данной системой семантических признаков и включив в описание лексико-семантические классы основ и дериватов, мы получаем такое описание семантических ролей суффиксальных морфем, которое, по сути дела, является комплексным описанием семантики производного слова. Причем построенные таким образом модели учитывают влияние лексической семантики производящей основы (если это необходимо) и ее взаимодействие со смыслом деривата. Механизм формирования смысла производного слова можно представить в следующем виде:

$$M_{\text{пр}} \Rightarrow M \cdot |j M_{k_1} \cup M_{k_2} \Rightarrow M_w \Rightarrow M_c, \quad (1)$$

где  $M_{\text{пр}}$  — выделенное множество пробных текстов, эксплицирующее множество семантических оттенков;  $M_x$  — множество семантических признаков, формируемых как классы эквивалентности оттенков;  $M_{k_1}, M_{k_2}$  — множества, элементами которых являются соответственно лексико-семантические классы производящих основ и дериватов;  $M_w, M_c$  — множества семантических ролей суффиксальных групп  $W$  и отдельных суффиксальных морфем  $C$ . В работе [6] построены каталоги семантических ролей  $W$  и  $C$ , которые являются, по существу, сводными характеристиками словообразовательных суффиксов, отражающими их семантические свойства. Значение каталога  $W$ , на наш взгляд, состоит и в том, что он содержит набор словообразовательных значений, реализуемых при суффиксальном словообразовании существительных. Между тем ни в одной из известных грамматик славянских языков нет обобщающего раздела, включающего набор словообразовательных значений [5]. Необходимость такого рода каталогов очевидна для моделирования словообразовательной семантики, а в перспективе — для обработки и системного представления различных аспектов языковой структуры.

Итак, формирование смысла производного слова зависит от двух компонент. Первая компонента представляет собой синтагматический предикат, формализующий сочетаемость мотивирующей основы и словообразовательного суффикса на грамматическом и семантическом уровнях:

$$C_s = P(g, s) \cdot T(k_1, s), \quad (2)$$

где  $P(g, s)$  — грамматический предикат синтагматики;  $T(k_1, s)$  — семантический предикат синтагматики. Подробно типология этих предикатов описывается в работе [6]. В качестве второй компоненты, участвующей в формализации смысла производного слова, выступает предикат

$$C_s = \bigvee_{j=1}^p c_j^s, \quad (3)$$

представляемый в виде дизъюнкции семантических ролей  $c_j^s$  словообразовательного суффикса  $s$  и являющийся его семантической моделью. Заметим, что семантическая модель учитывает

влияние лексической семантики основы и ее взаимодействие с семантикой деривата. Таким образом, формирование семантики производного слова представимо в виде

$$C_0 \cdot C_s \supset C_d, \quad (4)$$

где  $C_d$  — предикат, описывающий смысл деривата. Между левой и правой частями выражения (4) стоит не знак равенства, а импликация, поскольку смысл производного слова является весьма сложной функцией от смыслов его элементов. Детерминированность значения мотивированного слова значением мотивирующей основы свойственна далеко не всем словам. Значения многих слов закреплены узуально. Например, слова, мотивированные синонимичными словами и имеющие один и тот же формант, могут иметь разные значения: «печалить — делать печальным»; но «грустить — быть грустным». Значение же «быть печальным» передается возвратным глаголом «печалиться». В данном случае узус закрепил одну из возможностей, предоставленных системой языка.

Учет всех особенностей формирования семантики производных слов является сложной многоступенчатой задачей, включающей в себя, кроме упомянутых выше трудностей, явления словообразовательной омонимии, полисемии, ряд экстралингвистических факторов. Последовательная их формализация и включение в модель формирования смысла деривата позволят промоделировать на ЭВМ все особенности семантики производных слов.

**Список литературы:** 1. *Кубрякова Е. С.* Типы языковых значений. Семантика производного слова. М., 1981. 199 с. 2. *Архипов И. К.* Семантика производного слова английского языка. М., 1984. 128 с. 3. *Милославский И. Г.* Вопросы словообразовательного синтеза. М., 1980. 296 с. 4. *Немченко В. Н.* Современный русский язык. Словообразование. М., 1984. 256 с. 5. *Улукханов И. С.* Словообразовательная семантика в русском языке и принципы ее описания. М., 1977. 255 с. 6. *Рябова Н. В.* Математические модели семантики номинативного словообразования и их применение в автоматизированных информационных системах. Дис. ... канд. техн. наук. Х., 1989. 327 с.

*Поступила в редколлегию 10.05.99*

УДК 510.62

*В. Я. ТЕРЗИАН, канд. техн. наук, И. И. ПОПКОВ*

#### **ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УСТРАНЕНИЯ МНОГОЗНАЧНОСТИ СИНТАКСИЧЕСКОГО РАЗБОРА ЕСТЕСТВЕННОЯЗЫКОВОГО ВЫСКАЗЫВАНИЯ. Сообщение 1.**

Анализ естественных языковых текстов на этапе синтаксического разбора сталкивается с рядом трудностей, обусловленных прежде всего тем, что из-за синонимии различного рода и других причин возникает многозначность синтаксического представления естественных языковых высказываний (ЕЯВ). Устранение многознач-

ности на этом этапе достигается применением синтаксического фильтра, работающего с учетом ограничений для входного ЕЯВ. Формализация процесса, характеризующего работу этого фильтра, позволяет эффективно анализировать простые ЕЯВ и удалять неподходящие варианты синтаксического разбора путем введения новых ограничивающих правил на более высоких уровнях анализа.

Рассмотрим входное простое ЕЯВ. Каждая словоформа рассматриваемого предложения  $S_i \in S$ , где  $S$  — множество всех возможных словоформ словаря. Обозначим через  $z$  мощность множества  $S$ . Для установления факта принадлежности каких-либо словоформ из множества  $S$  конкретному рассматриваемому высказыванию введем предикат  $WORD(i)$ . Данный предикат определен на множестве индексов всех словоформ и является предикатом принадлежности словоформы  $S_i$  словаря входному ЕЯВ:

$$WORD(i) = \begin{cases} 1, & S \text{ принадлежит входному высказыванию} \\ 0, & S \text{ не принадлежит входному высказыванию,} \end{cases}$$

где  $i=1, \dots, z$  ( $z$  — мощность словаря).

В результате морфологического анализа ЕЯВ каждой словоформе соответствует один или несколько наборов признаков, позволяющих, в конечном итоге, устанавливать синтаксические связи в предложении. Каждый набор признаков представляет собой вектор, состоящий из  $n$  элементов  $p^1, \dots, p^n$ , являющихся элементами подмножеств  $P_1, P_2, \dots, P_n$  множества  $M$  значений всех признаков словоформ. В работе [1] в качестве набора признаков выделяется местоимение (определяет род, число), вопрос, на который отвечает словоформа, и предлог, имеющий отношение к данной словоформе. Например, в высказывании «Белокурый мальчик едет на велосипеде» вектор признаков для каждой словоформы этого ЕЯВ будет записан в виде  $p^1, p^2, p^3$ , где  $p^1$  — элемент подмножества всех вопросительных слов:  $P_1 = \{\text{кто, что, ...}\}$ ,  $p^2$  — элемент подмножества местоимений:  $P_2 = \{\text{он, она, оно, они}\}$ ,  $p^3$  — элемент подмножества всех предлогов:  $P_3 = \{\text{в, на, к, по, ...}\}$ . Каждое подмножество  $P_i$  содержит нулевой элемент 0, который входит в вектор признаков в том случае, если соответствующий элемент отсутствует для конкретной словоформы  $S_i$ .

Таким образом, для нашего примера вектор признаков для словоформы «белокурый» будет иметь вид: (какой, он, 0); для словоформы «Мальчик»: (кто, он, 0); «едет»; (что—делать, он, 0); «велосипеде»: (чем, он, на). Некоторые словоформы могут иметь несколько векторов признаков: «рабочий»: (какой, он, 0) и (кто, он, 0), что в конечном счете приводит к нескольким вариантам синтаксического разбора высказывания.

Рассмотрим множество векторов признаков как декартово произведение подмножеств одного класса:  $P_1, P_2, \dots, P_n$ :  $V = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n$ , где  $V$  — множество векторов признаков.

Пусть множество  $P_1 = \{p_1^1, p_2^1, \dots, p_{k_1}^1\}$ , где  $k_1$  — количество элементов данного подмножества. Соответственно:  $P_2 = \{p_1^2,$

$p_2^2, \dots, p_{k_2}^2$  и т. д.:  $P_n = \{p_1^n, p_2^n, \dots, p_n^n\}$ . Тогда мощность множества  $V:K = k_1 k_2 \dots k_n$ .

Пронумеруем элементы множества векторов признаков следующим образом:  $v_1 = (p_1^1, p_1^2, \dots, p_1^n)$ ;  $v_2 = (p_1^1, p_1^2, \dots, p_2^2) \dots v_{k_1} = (p_1^1, p_1^2, \dots, p_{k_1}^n)$ ;  $v_{k_1+1} = (p_1^1, p_1^2, \dots, p_2^{n-1}, p_1^n) \dots v_{k_n} = (p_{k_1}^1, p_{k_2}^2, \dots, p_{k_n}^n)$ .

На этапе морфологического анализа входного высказывания возникает задача поставить в соответствие каждой словоформе один или несколько векторов признаков из множества  $V$ . Другими словами, необходимо определить истинность предиката  $MORF(i, j)$ , который задается так:

$$MORF(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } v_j \text{ соответствует } S_i; \\ 0, & \text{если } v_j \text{ не соответствует } S_i, \end{cases}$$

где  $i = 1, \dots, z$ ;  $j = 1, \dots, K$ .

Синтаксические связи между словоформами входного высказывания, определенные на уровне соответствующих векторов признаков, являются направленными и необходимы для построения дерева синтаксического разбора — формируются с помощью предиката  $LINK$ , задаваемого следующим образом:

$$LINK(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } v_i \text{ имеет синтаксическую связь,} \\ & \text{направленную от } v_i \text{ к } v_j; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Истинность предиката  $LINK(i, j)$  определяется с помощью валентностей [2], которые формируются автоматически на этапе обучения системы, процедурных правил согласования [1] и др.

Целью синтаксического анализа является получение синтаксического дерева анализируемого ЕЯВ. Поэтому необходимо привести условия, которым должно удовлетворять дерево синтаксического разбора анализируемой структуры. Введем следующие определения: *корневой* называется словоформа, не имеющая ни одной подходящей к ней синтаксической связи; *некорневой* называется словоформа, имеющая одну подходящую синтаксическую связь. В правильно построенном синтаксическом дереве должна быть одна корневая словоформа, а остальные — некорневые. Кроме того, каждая словоформа должна иметь в своем составе только одну группу признаков (вектор).

При обработке реальных ЕЯВ возникают многозначности на этапе построения синтаксической структуры, удовлетворяющей указанным требованиям. Целью анализа на данном этапе является построение всех вариантов правильных синтаксических деревьев. Например, при анализе высказывания «Красное мороженое стекло в чашку», словоформа «стекло» может рассматриваться как су-

ществительное (причем и в именительном, и в винительном падежах), а также как глагол (прошедшее время среднего рода от «стекать»), «мороженое» может интерпретироваться как существительное (продукт питания) в именительном или винительном падежах, либо как прилагательное (от «мороженный»). Следовательно, отдельные словоформы могут иметь более одного варианта векторов признаков, что после применения предиката  $LINK(i, j)$  приводит к многозначности синтаксической структуры.

При формировании синтаксической структуры входного ЕЯВ подразумевается истинность предикатов  $WORD(i)$ ,  $MORF(i, j)$  и  $LINK(i, j)$ , позволяющих соотнести с анализируемым высказыванием соответственно: множество всех словоформ  $S$ , множество всех векторов признаков  $V$  с конкретными словоформами и также множество состоящих в синтаксическом отношении конкретных векторов признаков, позволяющих создать исходную структуру рассматриваемого ЕЯВ. Следовательно, многозначность анализируемой синтаксической структуры возникает из-за того, что некоторые словоформы ЕЯВ имеют более одного вектора признаков  $v_j$ , а также из-за многозначности, возникающей вследствие применения предиката  $LINK(i, j)$ .

Синтаксический разбор входного высказывания можно представить в виде дизъюнкции всех вариантов синтаксических деревьев:

$$R_i = WORD(i) \tilde{F}_i \bigwedge_{r=1}^z F_r, \quad (1)$$

где  $\tilde{F}_i$  — предикат, характеризующий корневую словоформу, который задается следующим образом:

$$\tilde{F}_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я словоформа является корневой;} \\ 0, & \text{если } S_i \text{ не является корневой.} \end{cases}$$

Соответственно,  $F_r$  — предикат, характеризующий некорневую словоформу

$$F_r = \begin{cases} 1, & \text{если } S_i \text{ является некорневой;} \\ 0, & \text{если } S_i \text{ не является некорневой.} \end{cases}$$

$R_i$  — выражение для  $i$ -го варианта синтаксического дерева.

Отметим, что словоформа может быть: корневой, некорневой, а также неправильной — иметь более одного вектора признаков

(т. е. в общем случае  $F_r \neq \tilde{F}_i$ , и наоборот;  $r = 1, \dots, z$ ;  $i = 1, \dots, z$ ).

Но выражение (1) имеет в своем составе предикат  $WORD(i)$ , который учитывает принадлежность  $i$ -й словоформы анализируемому ЕЯВ, но не проверяет выполнимость этого же условия для  $F_r$ . В конъюнкции необходимо, чтобы все словоформы  $F_r$ , не входящие в данное ЕЯВ, не учитывались, т. е. соответственно равнялись 1. Это выполняется в следующем случае:  $F_r \vee WORD(r)$ . Когда  $F_r$  не будет входить в анализируемое ЕЯВ,  $WORD(r)$  будет

равен 0, соответственно  $\overline{WORD}(r) = 1$ , которая поглощает  $F_r$ . Также надо учесть тот факт, что индексы  $r$  и  $i$  не могут быть равны (т. е. одна словоформа в рассматриваемом варианте дерева не может быть одновременно корневой и некорневой). Поэтому для учета этого условия надо ввести предикат равенства  $D(r, i)$ :

$$D(r, i) = \begin{cases} 1, & \text{если } r = i, \\ 0, & \text{если } r \neq i \end{cases}$$

и использовать поглощение  $F_r$  в дизъюнкции единицей. Таким образом, для некорневой словоформы имеем выражение  $F_r \vee \overline{WORD}(r) \vee D(r, i)$ , которое учитывает все ранее приведенные условия. Окончательная структура входного высказывания может быть записана уравнением

$$\bigvee_{i=1}^V (\overline{WORD}(i) \tilde{F}_i \bigwedge_{r=1}^z (F_r \vee \overline{WORD}(r) \vee D(r, i))) = 1, \quad (2)$$

где  $z$  — общее количество словоформ множества  $S$ .

Целью решения этого логического уравнения является определение связей синтаксического дерева для данного ЕЯВ. Отсюда следует, что необходимо выразить предикаты  $\tilde{F}_i$  и  $F_r$  через переменные, характеризующие связи между векторами признаков дерева синтаксического разбора. Поэтому введем предикат  $SYNT(i, j, k, l)$ , определенный на множестве индексов  $i, j, k, l$ , удовлетворяющих следующим условиям:

$$\begin{aligned} \overline{WORD}(i) = 1; \quad \overline{WORD}(k) = 1; \quad \overline{MORF}(i, j) = 1; \\ \overline{MORF}(k, l) = 1; \quad \overline{LINK}(j, l) = 1; \quad D(i, k) = 0. \end{aligned}$$

Определим предикат  $SYNT(i, j, k, l)$ , характеризующий направленную синтаксическую связь между векторами признаков различных словоформ анализируемого высказывания:

$$SYNT(i, j, k, l) = \begin{cases} 1, & \text{если синтаксическая связь, направленная от } v_j, \text{ соответствующего словоформе } S_i, \text{ к вектору } v_l, \text{ соответствующего словоформе } S_k, \text{ включается в синтаксическое дерево;} \\ 0, & \text{если данная связь не включается в синтаксическое дерево.} \end{cases}$$

С учетом введенного предиката запишем выражения для  $\tilde{F}_i$  и  $F_r$ . При составлении окончательных уравнений для корневой и некорневой словоформ необходимо использовать понятия «исключения всех подходящих» либо «отходящих» связей и др., целесообразно ввести выражения для записи дизъюнкции и конъюнкции для подходящих и отходящих связей к  $v_i$ , который соответствует словоформе  $S_i$ . Дизъюнкцию всех отходящих от  $v_i$  связей (слово-

формы  $S_i$ )  $OUTD(i, j)$  необходимо записать путем просмотра всех словоформ анализируемого ЕЯВ (за исключением  $S_i$ , что легко учитывается введением предиката равенства, аналогично (2)) на наличие синтаксических связей с  $v_j$ . Так как при составлении  $OUTD(i, j)$  рассматривается все множество  $S$  и все множество  $V$ , то, естественно, необходимо учитывать истинность предикатов  $WORD(k)$  и  $MORF(k, m)$ :

$$OUTD(i, j) = \bigvee_{k=1}^z (WORD(k) \overline{D}(i, k) \cdot \bigvee_{m=1}^K (MORF(k, m) \wedge \wedge LINK(j, m) SYNT(i, j, k, m))), \quad (3)$$

где  $z$  — мощность множества  $S$ ;  $K$  — мощность множества  $V$ .

Предикат  $D(i, k)$  позволяет исключить из рассмотрения  $S_i$ , так как при  $i=k$ ,  $D(i, k)=0$  и в общей дизъюнкции по  $k$  соответствующий дизъюнкт будет равен также 0.

Соответственно для записи конъюнкции всех синтаксических связей, отходящих от  $v_j$  словоформы  $S_i$ , выражение  $OUTK(i, j)$  имеет вид

$$OUTK(i, j) = \bigwedge_{k=1}^z (\overline{WORD}(k) \vee D(i, k) \vee \bigvee_{m=1}^K (\overline{MORF}(k, m) \vee \overline{LINK}(j, m) \vee SYNT(i, j, k, m))). \quad (4)$$

Выражения для подходящих к  $v_j$  связей записываются аналогично (3) и (4). Для дизъюнкции подходящих синтаксических связей

$$IND(i, j) = \bigvee_{k=1}^z (WORD(k) \cdot \overline{D}(i, k) \cdot \bigvee_{m=1}^K (MORF(k, m) \wedge \wedge LINK(m, j) SYNT(k, m, i, j))). \quad (5)$$

Конъюнкция подходящих синтаксических связей запишется в виде

$$INK(i, j) = \bigwedge_{k=1}^z (\overline{WORD}(k) \vee D(i, k) \vee \bigvee_{m=1}^K (\overline{MORF}(k, m) \vee \overline{LINK}(m, j) \vee SYNT(k, m, i, j))). \quad (6)$$

В дальнейшем для записи логических выражений для корневой и некорневой словоформ, помимо выражений (3) — (5), необходимо использовать аналогичные выражения, с той лишь разницей, что предикат  $SYNT$ , характеризующий связи в синтаксических деревьях, должен входить с отрицанием:  $\overline{SYNT}(i, j, k, l)$ . Такие выражения будем обозначать соответственно:  $OUTD^*(i, j)$  (7),  $OUTK^*(i, j)$  (8),  $IND^*(i, j)$  (9),  $INK^*(i, j)$  (10). С учетом этого

запишем выражения для  $F_i$  и  $F_7$  относительно предиката  $SYNT(i, j, k, l)$ .

При составлении уравнения для корневой словоформы  $\tilde{F}_i$  возникают следующие условия: для каждого вектора признаков  $v_j$ , соответствующих  $\tilde{F}_i$ , все связи записываем без отрицания через дизъюнкцию; при этом все подходящие к данной словоформе связи записываем через логическое отрицание (т. е.  $\overline{SYNT}(k, l, i, j)$ ,  $k \neq i$ ) и все отходящие от словоформы  $\tilde{F}_i$  связи, кроме соответствующих вектору признаков  $v_j$ , также записываются через отрицание (т. е.  $\overline{SYNT}(i, j, k, l)$ ,  $i \neq k$ ,  $j \neq l$ ). Таким образом, для корневой словоформы  $\tilde{F}_i$  имеем следующее выражение:

$$\tilde{F}_i = \bigvee_{j=1}^K (MORF(i, j) OUTD(i, j) \vee \bigwedge_{t=1}^K (\overline{MORF}(i, t) \vee \bigvee_{k=1}^K INK^*(i, t) \cdot (OUTK(i, t) \vee D(t, j))), \quad (11)$$

где  $K$  — мощность множества векторов признаков.

Так как при составлении выражения для корневой словоформы анализируются все элементы множества  $V$ , то предикат  $MORF(i, j)$  позволяет исключить из дизъюнкции по  $j$  те вектора признаков, которые не относятся к  $S_i$  анализируемого высказывания;  $\overline{MORF}(i, j)$  проводит аналогичную операцию для конъюнкции синтаксических связей.

При записи выражения, характеризующего некорневую словоформу, используем следующее правило: все связи, подходящие к конкретному вектору  $v_j$ , соответствующему словоформе  $S_i$ , должны записываться через дизъюнкцию конъюнкций, в которых поочередно каждая подходящая к  $v_j$  связь записывается без отрицания, а остальные подходящие связи записываются с отрицанием, что соответствует предикатам  $SYNT(k, l, i, j)$  и  $\overline{SYNT}(k, l, i, j)$ . Данное правило можно представить выражением

$$ENOT(i, j) = \bigvee_{k=1}^z (WORD(k) \cdot \overline{D}(k, i) \cdot \bigvee_{t=1}^K (MORF(k, t) \wedge \bigwedge_{p=1}^K LINK(t, j) SYNT(k, t, i, j) \cdot \bigwedge_{p=1}^K (\overline{MORF}(k, p) \wedge \bigwedge_{p=1}^K LINK(p, j) \cdot (\overline{SYNT}(k, p, i, j) \vee D(p, t))))), \quad (12)$$

где  $z$  — мощность множества всех словоформ  $S$ ;

$K$  — мощность множества векторов признаков.

Так как при составлении  $ENOT(i, j)$ , рассматриваются все элементы множеств  $S$  и  $V$ , предикаты  $WORD(k)$  и  $MORF(k, t)$  позволяют исключить из рассмотрения все словоформы и вектора признаков, не относящиеся к данному ЕЯВ. Предикат равенства  $D(p, t)$  позволяет исключить из (12) все синтаксические отношения, возникающие внутри словоформы  $S_i$ .

С учетом (12) запишем полностью выражение для некорневой словоформы, принимая во внимание, что кроме связей, которые описывает  $ENOT(i, j)$ , через конъюнкцию записываются все подходящие и отходящие к другим  $v_i (i \neq j)$  соответствующие словоформе  $S_i$  синтаксические связи. Дизъюнкция по всем векторам признаков данной некорневой словоформы, с учетом приведенных условий, дает требуемое выражение для  $S_i$  анализируемого ЕЯВ:

$$F_r = \bigvee_{j=1}^K (MORF(r, j) ENOT(r, j) \cdot \bigwedge_{t=1}^K (\overline{MORF(r, t)} \vee \bigvee INK^*(r, t) OUTK^*(r, t) \vee D(t, j))). \quad (13)$$

Конъюнкция по  $t$  фиксирует все синтаксические связи, подходящие и отходящие от словоформы  $S_r$  с отрицанием (т. е.  $\overline{SYNT(i, j, k, l)}$  и  $SYNT(k, l, i, j)$ ), а предикат  $D(t, j)$  позволяет исключить из рассмотрения связи, соответствующие текущему вектору признаков  $v_j$ , входящему в  $S_i$ .

Синтаксический анализ реальных ЕЯВ во многих случаях позволяет получить единственное дерево синтаксического разбора. В случаях, когда возникает несколько вариантов деревьев, дальнейшая обработка полученных структур может проводиться с учетом дополнительных ограничений. Требование выполнения условий проективности деревьев, «правила соседства» и т. д. означает удаление неподходящих вариантов синтаксических деревьев.

**Список литературы:** 1. Ловицкий В. А. Диалоговая естественная языковая система принятия решений. Х., 1981. 110 с. 2. Терзиян В. Я. Принципы организации анализа естественного языкового высказывания в системах общения пользователей с ЭВМ. Сообщ. 2//Пробл. бионики. 1985. Вып. 35. С. 17—24.

Поступила в редколлегию 14.09.90

УДК 510.62

В. Я. ТЕРЗИЯН, канд. техн. наук И. И. ПОПКОВ

### ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УСТРАНЕНИЯ МНОГОЗНАЧНОСТИ СИНТАКСИЧЕСКОГО РАЗБОРА ЕСТЕСТВЕННОЯЗЫКОВОГО ВЫСКАЗЫВАНИЯ. Сообщение 2

Приведенный в [1] метод построения синтаксических деревьев, позволяющий получать несколько вариантов синтаксических структур, удовлетворяющих заданным условиям, эффективно работает при анализе простых распрощенных предложений. Во многих случаях позволяет получить единственную древовидную синтаксическую структуру. Рассмотрим конкретный пример. Пусть дано естественное языковое высказывание (ЕЯВ): «Красное мороженое стекло в чашку». Проведем синтаксический анализ этого высказывания и построим структуру данного ЕЯВ, используя результаты работы [1].

Предположим, что словарь (множество  $S$ ) помимо других, также включает в себя следующие элементы:  $S = \{ \dots, \text{красное}, \dots, \text{мороженое}, \dots, \text{стекло}, \dots, \text{чашку}, \dots \}$ . Истинность предиката  $WORD(i)$  для рассматриваемого ЕЯВ позволяет включить в анализ только те элементы множества  $S$ , которые содержатся в данном предложении. Пусть словоформы входного ЕЯВ имеют следующие номера в  $S$ :  $i_1, i_2, i_3, i_4$ . Таким образом,  $WORD(i_1) = 1$ ;  $WORD(i_2) = 1$ ;  $WORD(i_3) = 1$ ;  $WORD(i_4) = 1$ . В рассматриваемом случае данный предикат для индексов всех остальных элементов равен нулю.

Введем множество векторов признаков  $V$ , состоящее из элементов:  $V = \{ \dots, (\text{какой}, \text{оно}, 0), \dots, (\text{что} - \text{в}, \text{оно}, 0), \dots, (\text{что}, \text{оно}, 0), \dots, (\text{что} - \text{сделало}, 0, 0), \dots, (\text{куда}, 0, \text{в}), \dots \}$ . Вектора признаков в данном случае формируются из множеств:  $P_1 = \{0, \dots, \text{какой}, \dots, \text{что}, \dots, \text{что} - \text{в}, \dots, \text{что} - \text{сделало}, \dots, \text{куда}, \dots\}$ ;  $P_2 = \{0, \text{он}, \text{она}, \text{оно}, \text{они}\}$ ;  $P_3 = \{0, \dots, \text{в}, \dots\}$ .

Присвоим приведенным элементам множества  $V$  соответственно индексы:  $j_1, j_2, j_3, j_4, j_5$ . Следовательно, анализируя истинность предиката  $MORF(i, j)$ , можно установить, какие векторы признаков характеризуют каждую  $S_i$  входного предложения:

$$\begin{aligned} MORF(i_1, j_1) = 1; MORF(i_2, j_1) = 1; MORF(i_2, j_2) = 1; MORF(i_2, j_3) = 1; MORF(i_2, j_4) = 1; \\ MORF(i_3, j_3) = 1; MORF(i_3, j_4) = 1; \\ MORF(i_4, j_5) = 1. \end{aligned}$$

Значения этого предиката по всем остальным индексам в рамках входного ЕЯВ равны нулю.

Предикат  $LINK(i, j)$  позволяет установить синтаксическую взаимосвязь векторов признаков множества  $V$ :

$$\begin{aligned} LINK(j_2, j_1) = 1; LINK(j_3, j_1) = 1; \\ LINK(j_4, j_3) = 1; LINK(j_4, j_5) = 1. \end{aligned}$$

Для всех остальных значений индексов векторов признаков, характеризующих анализируемое ЕЯВ, предикат  $LINK(i, j) = 0$ .

Найдем  $OUTD(i, j)$ , учитывая значение индексов  $i$  и  $j$ , при которых предикаты  $WORD(i)$ ,  $MORF(i, j)$ ,  $LINK(i, j)$  принимают истинное значение:  $OUTD(i_1, j_1) = 0$ ;  $OUTD(i_2, j_1) = 0$ ;  $OUTD(i_2, j_2) =$

$$\begin{aligned} = SYNT(i_2, j_2, i_1, j_1); OUTD(i_2, j_3) = SYNT(i_2, j_3, i_1, j_3); OUTD(i_3, j_3) = \\ = SYNT(i_3, j_3, i_1, j_1) \vee SYNT(i_3, j_3, i_2, j_1); OUTD(i_3, j_4) = \\ = SYNT(i_3, j_4, i_2, j_3) \vee SYNT(i_3, j_4, i_4, j_5); OUTD(i_4, j_5) = 0. \end{aligned}$$

Найдем, чему равна конъюнкция всех отходящих синтаксических связей от каждой словоформы рассматриваемого ЕЯВ: для 1-й словоформы:  $OUTK(i_1, j_1) = 0$ ; для 2-й словоформы:

$$OUTK(i_2, j_1) = 0; OUTK(i_2, j_2) = SYNT(i_2, j_2, i_1, j_1);$$

$OUTK(i_2, j_3) = SYNT(i_2, j_3, i_1, j_1)$ ; для 3-й словоформы:  
 $OUTK(i_3, j_3) = SYNT(i_3, j_3, i_2, j_1) \wedge SYNT(i_3, j_3, i_1, j_1)$ ;  
 $OUTK(i_3, j_4) = SYNT(i_3, j_4, i_2, j_3) \wedge SYNT(i_3, j_4, i_4, j_5)$ ;  
 для 4-й словоформы:  $OUTK(i_4, j_5) = 0$ .

Определим  $INK^*$  для словоформ данного ЕЯВ: для 1-й словоформы  $INK^*(i_1, j_1) = \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1)$ ; для 2-й словоформы:  $INK^*(i_2, j_1) = \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1)$ ;  $INK^*(i_2, j_2) = 1$ ;  $INK^*(i_2, j_3) = \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3)$ ; для 3-й словоформы:  $INK^*(i_3, j_3) = 1$ ;  $INK^*(i_3, j_4) = 1$ ; для 4-й словоформы:  $INK^*(i_4, j_5) = \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_4, j_5)$ .

Определим для каждой словоформы  $\tilde{F}_i: F_{i_1} = 0; F_{i_2} = \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1) \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3) \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1) \vee \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3) \cdot \tilde{F}_3 = (\overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1) \vee \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1)) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3) \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_4, j_5) \vee (\overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3) \vee \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_4, j_5)) \vee \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1) \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1) \cdot \tilde{F}_4 = 0$ .

Для того, чтобы найти выражение для некорневой словоформы, необходимо найти значение выражения  $ENOT(i, j)$  для всех словоформ данного ЕЯВ: для 1-й словоформы:  $ENOT(i_1, j_1) = \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1) \vee \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1) \vee \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1)$ ; для 2-й словоформы:  $ENOT(i_2, j_1) = \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1)$ ;  $ENOT(i_2, j_2) = 0$ ;  $ENOT(i_2, j_3) = \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3)$ ; для 3-й словоформы данные выражения равны нулю; для 4-й словоформы  $ENOT(i_4, j_5) = \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_4, j_5)$ .

Запишем выражения для некорневых словоформ  $F_i: F_{i_1} = \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1) \vee \vee \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1) \vee \vee \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1)$ ;  $F_{i_2} = \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3) \overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1)$ ;  $F_{i_3} = 0$ ;  $F_{i_4} = \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_4, j_5)$ .

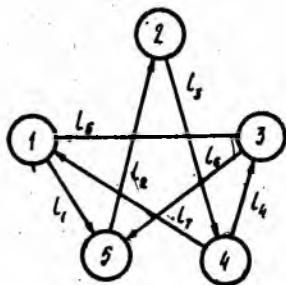
Таким образом, уравнение синтаксической структуры данного ЕЯВ будет иметь вид  $F_{i_3} F_{i_1} F_{i_2} F_{i_4} = 1$ .  $((\overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1) \vee \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1)) \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_4, j_5) \vee \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_2, j_3) \vee \overline{SYNT}(i_3, j_4, i_4, j_5) \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_2, j_1) \wedge \overline{SYNT}(i_3, j_3, i_1, j_1)) (\overline{SYNT}(i_2, j_2, i_1, j_1) \overline{SYNT}(i_2, j_3, i_1, j_1) \times$

$$\begin{aligned} & \times \overline{SYNT} (i_3, j_3, i_1, j_1) \vee SYNT (i_2, j_3, i_1, j_1) \wedge \overline{SYNT} (i_2, j_3, i_1, j_1) \times \\ & \times \overline{SYNT} (i_3, j_3, i_3, j_1) \vee SYNT (i_3, j_3, i_1, j_1) \cdot \overline{SYNT} (i_2, j_2, i_1, j_1) \times \\ & \times \overline{SYNT} (i_2, j_3, i_1, j_1) \cdot \overline{SYNT} (i_3, j_3, i_2, j_1) \cdot \overline{SYNT} (i_3, j_4, i_2, j_3) \times \\ & \times \overline{SYNT} (i_2, j_2, i_1, j_1) \cdot SYNT (i_2, j_3, i_1, j_1) \vee SYNT (i_3, j_4, i_2, j_3) \wedge \\ & \wedge SYNT (i_2, j_2, i_1, j_1) \cdot SYNT (i_3, j_3, i_2, j_1) \wedge \overline{SYNT} (i_3, j_4, i_4, j_5) = \\ & = 1. \end{aligned}$$

В итоге получаем  $\overline{SYNT} (i_2, j_2, i_1, j_1) \cdot SYNT (i_2, j_3, i_1, j_1) \times$   
 $\times \overline{SYNT} (i_3, j_3, i_1, j_1) \cdot \overline{SYNT} (i_3, j_3, i_2, j_1) \wedge SYNT (i_3, j_4, i_2, j_3) \times$   
 $\times SYNT (i_3, j_4, i_4, j_5) = 1$ . Таким образом, имеем  $SYNT (i_2, j_2,$   
 $i_1, j_1) = 0$ ;  $SYNT (i_2, j_3, i_1, j_1) = 1$ ;  $SYNT (i_3, j_3, i_1, j_1) = 0$ ;  
 $SYNT (i_3, j_3, i_2, j_1) = 0$ ;  $SYNT (i_3, j_4, i_2, j_3) = 1$ ;  $SYNT (i_3, j_4, i_4,$   
 $j_5) = 1$ .

Необходимо отметить, что полученная структура проанализированного высказывания является однозначной. Истинность предикатов  $SYNT(i, j, k, l)$  определяет направленную синтаксическую связь между словоформами выходной структуры.

Рассмотрим следующий пример абстрактной структуры (рисунок). Проведем анализ данной структуры и найдем все деревья, удовлетворяющие приведенным выше условиям. Для упрощения анализа применим метод частичного устранения многозначности синтаксического представления ЕЯВ, считая, что все предикаты принадлежности словоформы данному ЕЯВ равны единице, как и предикаты соответствия векторов признаков данной словоформе и др. (также, для простоты анализа считаем, что каждая словоформа высказывания имеет единственный вектор признаков). В результате анализа получается несколько древовидных синтаксических структур, полностью удовлетворяющих приведенным выше условиям: корень — словоформа 4:



единственный вектор признаков). В результате анализа получается несколько древовидных синтаксических структур, полностью удовлетворяющих приведенным выше условиям: корень — словоформа 4:

$l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee \bar{l}_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7$ ; корень — словоформа 5:  
 $l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee \bar{l}_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7$ ; корень — словоформа 3:  $l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee$   
 $\vee \bar{l}_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee \bar{l}_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7$ ; корень — словоформа 2:  $\bar{l}_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee$   
 $l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee \bar{l}_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7 \vee \bar{l}_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7$ ; корень — словоформа 1:  
 $l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7$ .

Таким образом, после этапа предварительного анализа имеем 13 вариантов правильных синтаксических деревьев. В дальнейшем, следуя традиционным способам анализа, переходим на более высокий, семантический уровень для устранения многозначности. Потребуем от синтаксического дерева, чтобы выполнялось условие: ни одна синтаксическая связь не должна пересекаться

с другой в анализируемом ЕЯВ. В этом случае из 13 вариантов синтаксических деревьев остается лишь один:  $l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 l_6 l_7$ . Причем данный вариант можно получить еще на этапе построения синтаксической структуры ЕЯВ, потребовав лишь выполнения условия непересечения синтаксических связей. Это условие является настолько мощным, что в рассматриваемом примере позволяет полностью устранить многозначность, исключая 12 вариантов синтаксических деревьев. Данное условие позволяет находить так называемые проективные синтаксические структуры.

Таким образом, проективным назовем дерево, в котором: 1) отсутствуют пересечения синтаксических связей; 2) ни одна синтаксическая связь не накрывает другую.

Если для синтаксического дерева выполняется лишь первое условие, а второе нет, то такое дерево назовем слабопроективным.

Для того чтобы записать условие непересечения связей, рассмотрим попарно все связи в анализируемом ЕЯВ (рисунок). Связь  $l_2$  пересекается со связью  $l_7$  и со связью  $l_5$ . Для того чтобы структура была слабопроективной, необходимо потребовать следующее: или отсутствуют  $l_2$  или  $l_7$ , или  $l_2$  и  $l_7$ , и отсутствуют связи  $l_2$  или  $l_5$ . Аналогичное условие и для связей:  $l_3, l_6, l_7$ : необходимо отсутствие  $l_3$  или  $l_6$  и  $l_3$  или  $l_7$ . Таким образом, условие для слабопроективной структуры запишется в виде

$$\bigwedge_{j=1}^s \bigwedge_{t=1}^s (\bar{l}_i \vee \bar{l}_j \vee C(l_i, l_j)) = 1, \quad (1)$$

где  $l_i, l_j$  — синтаксические связи анализируемого ЕЯВ;  $C$  — количество связей в ЕЯВ. Предикат  $C(l_i, l_j)$  — определяет пересечение синтаксических связей в анализируемом ЕЯВ:

$$C(l_i, l_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } l_i \text{ и } l_j \text{ пересекаются,} \\ 0, & \text{если } l_i \text{ и } l_j \text{ не пересекаются.} \end{cases}$$

Для рассматриваемой структуры (рис. 1) условие слабопроективности выглядит следующим образом:

$$(\bar{l}_2 \vee \bar{l}_5)(\bar{l}_2 \vee \bar{l}_7)(\bar{l}_3 \vee \bar{l}_6)(\bar{l}_3 \vee \bar{l}_7) = 1. \quad (2)$$

Умножая полученные 13 вариантов на это условие, в итоге находим единственный вариант синтаксического дерева, который не имеет в своей структуре пересекающихся синтаксических связей 5:  $l_1 l_2 l_3 l_4 \bar{l}_5 l_6 l_7$ .

Требование от синтаксических деревьев выполнения условия проективности приводит к сильному сужению возможных вариантов синтаксических структур реальных высказываний. В связи с этим можно привести следующий аргумент в пользу такого ограничения, учитывая стоящие практические задачи анализа естественного языка: «В классе всевозможных деревьев подчинения можно выделить подкласс, который содержит подавляющее большинство «естественных» деревьев для предложений реальных языков

и, по-видимому, практически все «естественные» деревья выражений наиболее важных формализованных искусственных языков. Это класс так называемых проективных деревьев» [2].

На предварительном этапе частичного устранения многозначности синтаксического представления эффективными средствами минимизации являются требование построения правильной древовидной структуры и/или анализ синтаксической структуры на проективность. Причем для языков европейского типа возможен различный подход на предварительном этапе анализа: 1) составляются варианты синтаксических структур с учетом условий единственности корневой словоформы и т. д., а затем полученные варианты анализируются с точки зрения удовлетворения условию проективности; 2) вначале составляются варианты проективных синтаксических структур, а затем каждый из них рассматривается с позиции удовлетворения условиям правильной древовидной синтаксической структуре. Первый вариант предварительного анализа более эффективен для высказываний восточноевропейских языков (русский, польский, болгарский, украинский и т. д.), а второй вариант целесообразнее применять для западноевропейских языков (английский, немецкий, французский и т. д.) с более жестким порядком следования словоформ в предложении.

При анализе высказываний возможен и третий, совместный вариант решения задачи устранения многозначности синтаксического представления предложения: синтаксическое дерево высказывания составляется сразу с учетом и требований проективности структуры.

Предлагаемый способ минимизации возможен для реализации на ЭВМ в том случае, если он будет описан в терминах продукционного подхода, либо с помощью предикатов, определяющих принадлежности словоформ словарного множества анализируемому высказыванию, соответствие вектора признаков какой-либо словоформе данного ЕЯВ и т. д. Также необходимо определить предикат, устанавливающий наличие или отсутствие пересечения между парой синтаксических связей ЕЯВ, который определен на множестве индексов всех словоформ.

Содержательный смысл условий проективности и слабой проективности состоит в том, что слова, близкие синтаксически, близки и по положению в тексте. В научной и деловой прозе подавляющее большинство синтаксических деревьев являются проективными или слабопроективными. За некоторыми исключениями, непроективность в «деловом» тексте, скорее всего, характеризует слабую грамотность его сочинителя. Поэтому применение условий проективности синтаксического представления является важным требованием при анализе деловой прозы и позволяет эффективно устранять многозначность древовидной структуры анализируемого ЕЯВ.

Список литературы: 1. Терзиян В. Я., Попков И. И. Формализация процесса устранения многозначности синтаксического разбора естественного языкового высказывания. Сообщение 1//См. статью в настоящем сб. 2. Гладкий А. В. Синтаксические структуры естественного языка в автоматизированных системах общения. М., 1985. 144 с.

Поступила в редколлегию 14.05.90.

УДК 510.62

А. В. КОЛЬЦОВ, Д. Э. СИТНИКОВ, Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО,  
д-р техн. наук

## О ДЕКОМПОЗИЦИИ УРАВНЕНИЙ АЛГЕБРЫ КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ

Пусть имеется уравнение алгебры конечных предикатов  $A = 1$  (1), где  $A$  — произвольно выбранный конечный предикат, представленный какой-либо формулой универсальной алгебры\*. Под декомпозицией такого уравнения будем понимать замену этого уравнения равносильной ему системой  $A_1 = 1, A_2 = 1, \dots, A_s = 1$  более простых уравнений. Здесь  $A_1, A_2, \dots, A_s$  — предикаты, связанные с предикатом  $A$  тождеством:

$$A_1 A_2 A_3 \dots A_s \equiv A. \quad (2)$$

Число предикатов  $s$   $A_1, A_2, \dots, A_s$  может быть выбрано произвольно. Декомпозицию уравнения (1) можно производить, основываясь на приведенной ниже теореме о конъюнктивной декомпозиции.

**Теорема 1.** Предикаты  $A_1, A_2, \dots, A_s$ , удовлетворяющие условию (2), имеют следующий общий вид:

$$A_1 \equiv A \vee B_1 (B_2 \vee \dots \vee \bar{B}_s);$$
$$A_2 \equiv A \vee B_2; \quad (3)$$

$$A_s \equiv A \vee B_s,$$

где  $B_1, B_2, \dots, B_s$  — произвольно выбранные предикаты.

**Доказательство.** Для доказательства теоремы достаточно убедиться в справедливости следующих двух утверждений.

1. При любых предикатах  $B_1, B_2, \dots, B_s$  тождество (2) выполняется.

2. Для любых предикатов  $A_1, A_2, \dots, A_s$ , удовлетворяющих условию (2), найдутся предикаты  $B_1, B_2, \dots, B_s$ , обеспечивающие выполнение тождеств (3).

Первое утверждение означает, что любые предикаты вида (3) пригодны для представления предиката произведением  $A_1 A_2 \dots A_s$ .

\* Шабанов-Кушнаренок Ю. П. Теория интеллекта. Математические средства. X., 1984 155 с.



Тогда, подставляя выражения для  $B_i$  (4), получим  $A \vee B_i \times \times (\bar{A}_1 \vee \dots \vee \bar{B}_{i-1} \vee \bar{B}_{i+1} \vee \dots \vee \bar{B}_s) \equiv A \vee \bar{A}A_i (\bar{A}A_1 \vee \dots \vee \bar{A}A_{i-1} \vee \dots \vee \bar{A}A_{i+1} \vee \dots \vee \bar{A}A_s) \equiv (A \vee \bar{A})(A \vee A_i (A \vee \bar{A}_1 \vee \dots \vee \bar{A}_{i-1} \vee \dots \vee \bar{A}_{i+1} \vee \dots \vee \bar{A}_s)) \equiv A \vee A_i A \vee A_i (\bar{A}_1 \vee \dots \vee \bar{A}_{i-1} \vee \bar{A}_{i+1} \vee \dots \vee \bar{A}_s) \equiv A \vee A (\bar{A}_1 \vee \dots \vee \bar{A}_{i-1} \vee \bar{A}_{i+1} \vee \dots \vee \bar{A}_s) \equiv A_1 \dots A_{i-1} \times \times A_i A_{i+1} \dots A_s \vee A A_1 \dots \bar{A}_{i-1} A_{i+1} \dots A_s \equiv A_i (A_1 \dots A_{i-1} A_{i+1} \dots A_s \vee \bar{A}_1 \dots \bar{A}_{i-1} A_{i+1} \dots A_s) \equiv A_i, i = 1, 2, \dots, s.$

Теорема доказана.

Рассмотрим следствия теоремы 1.

*Следствие 1.* Предикаты  $A_1, A_2, \dots, A_s$ , удовлетворяющие условию (2), всегда можно представить в виде

$$A_1 \equiv A \vee C_1, A_2 \equiv A \vee C_2, \dots, A_s \equiv A \vee C_s, \quad (5)$$

где  $C_1, \dots, C_s \equiv 0$  (6). При этом из (5) и (6) следует (2).

Действительно принимая  $C_1 \equiv B_1 (B_1 \vee \dots \vee B_s)$ ,  $C_2 \equiv B_2, \dots, C_s \equiv B_s$ , находим, что условие (5) выполняется. Вместе с тем  $C_1 C_2 \dots C_s \equiv B_1 (\bar{B}_2 \vee \dots \vee \bar{B}_s) B_2 \dots B_s \equiv B_1 B_2 \dots B_s B_2 \dots B_s \equiv 0$ . Из (5) и (6) вводим (2):  $A_1 A_2 \dots A_s \equiv (A \vee C_1)(A \vee C_2) \dots (A \vee C_s) \equiv A \vee C_1 C_2 \dots C_s \equiv A \vee 0 = A$ .

*Следствие 2.* Предикаты  $C_1, C_2, \dots, C_s$ , фигурирующие в тождествах (5) и (6), всегда можно выбрать так, чтобы они удовлетворяли условиям  $AC_1 \equiv 0, AC_2 \equiv 0, \dots, AC_s \equiv 0$  (7).

Действительно, принимая  $C_1 \equiv \bar{A}A_1, C_2 \equiv \bar{A}A_2, \dots, C_s \equiv \bar{A}A_s$ , находим, что условия (5) и (6) выполняются  $A \vee C_i \equiv A \vee \bar{A}A_i \equiv A \vee A_i \equiv A_1 A_2 \dots A_i \dots A_s \vee A_i \equiv A_i, C_1 C_2 \dots C_s \equiv \bar{A}A_1 \bar{A}A_2 \dots \bar{A}A_s \equiv \bar{A}A_1 A_1 \dots A_s \equiv \bar{A}A \equiv 0$ . Вместе с тем  $AC_i \equiv A \bar{A}A_i \equiv 0, i = 1, 2, \dots, s$ .

Из теоремы о конъюнктивной декомпозиции также можно вывести теорему о дизъюнктивной декомпозиции.

*Теорема 3.* Предикаты  $A_1, A_2, \dots, A_s$ , удовлетворяющие условию  $A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_s \equiv A$  (8), имеют следующий общий вид:

$$A_1 \equiv A (B_1 \vee \bar{B}_2 \dots \bar{B}_s), A_2 \equiv AB_2, \dots, A_s \equiv AB_s, \quad (9)$$

где  $B_1, B_2, B_s$  — произвольно выбранные предикаты.

Эта теорема непосредственно выводится из теоремы 1, если в (2) и (3) под  $A, A_1, A_2, \dots, A_s, B_1, B_2, \dots, B_s$  понимать соответственно  $A, A_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_s, B_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_s$ . Действительно, рассматривая тождество  $\bar{A} \equiv \bar{A} A_2 \dots A_s$  и применяя теорему 1, получаем следующий общий вид для  $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_s$ :

$$\bar{A}_1 \equiv \bar{A} (B_1 \vee \bar{B}_2 \vee \dots \vee \bar{B}_s), \bar{A}_2 \equiv \bar{A} \vee B_2, \dots, \bar{A}_s \equiv \bar{A} \vee B_s. \quad (10)$$



*Следствие 4.* Предикаты  $C_1, C_2, \dots, C_s$ , фигурирующие в тождествах (13), (14), всегда можно выбрать так, чтобы они удовлетворяли условиям:

$$A \vee C_1 \equiv 1, A_2 \vee C_2 \equiv 1, \dots, A_s \vee C_s \equiv 1. \quad (15)$$

Действительно, принимая  $C_1 \equiv \bar{A} \vee A_1, C_2 \equiv \bar{A} \vee A_2, \dots, C_s \equiv \bar{A} \vee A_s$ , находим, что условия (13), (14) выполняются:

$$AC \equiv A(\bar{A} \vee A) \equiv AA \equiv (A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_1 \vee \dots \vee A_s) A_1 \equiv A_1;$$

$$C_1 \vee C_2 \vee \dots \vee C_n \equiv \bar{A} \vee A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_s \equiv \bar{A} \vee A \equiv 1.$$

Вместе с тем  $A \vee C_i \equiv A \vee \bar{A} \vee A_i \equiv 1, i = 1, 2, \dots, s$ .

Рассмотрим пример применения теоремы о декомпозиции. Дано уравнение

$$y^1 z^0 t^1 \vee x^0 y^1 t^1 \vee x^0 y^1 z^0 \vee x^0 z^0 t^1 = 1. \quad (16)$$

Требуется заменить его равносильной системой, состоящей из двух возможно более простых уравнений.

Предикат, представленный левой частью уравнения (16), обозначаем символом  $A$ . Условие (2) в данном случае запишется в виде  $A_1 A_2 \equiv A$  (17). Предикаты  $A_1$  и  $A_2$  будем искать в виде (5)  $A_1 \equiv A \vee C_1, A_2 \equiv A \vee C_2$  (13). Согласно (6) и (7), полагаем  $C_1 C_2 \equiv 0, AC_1 \equiv 0, AC_2 \equiv 0$  (19).

Для наглядности на табл. 1 предикат  $A$  представлен диаграммой Вейга. Нули в диаграмму не занесены. Условия (19) означают, что предикаты  $C_1$  и  $C_2$  не должны иметь общих единиц, кроме того, каждый из этих предикатов не должен иметь общих единиц с предикатом  $A$ . В остальном предикаты  $C_1$  и  $C_2$  можно выбирать произвольно. В роли  $C_1$  и  $C_2$  берем предикаты, представленные соответственно в табл. 2 и 3. Положение единиц в диаграммах Вейга для предикатов  $C_1$  и  $C_2$  выбрано с таким расчетом, чтобы удовлетворить рассмотренным ранее условиям (3) и, вместе с тем, получить возможно более простые формулы для предикатов  $A_1 \equiv A \vee C_1$  и  $A_2 \equiv A \vee C_2$ . Полученные предикаты  $A_1$  и  $A_2$  представлены в табл. 4 и 5.

Переходя от диаграмм Вейга к формулам, получаем  $A_1 \equiv x^0 y^1 \vee z^0 t^1, A_2 \equiv x^0 z^0 \vee y^1 t^1$ . Таким образом, исходное уравнение (16), имеющее 12 узнаваний букв, мы заменим равносильной ему системой, состоящей из двух уравнений, каждое из которых имеет по 4 узнавания буквы. Всего в системе — 8 узнаваний букв, т. е. меньше, чем в исходном уравнении.

Рассмотрим пример декомпозиции на несколько уравнений. Пусть требуется заменить уравнение (16) равносильной ему системой, состоящей из возможно более простых уравнений. Число уравнений не ограничивается. Декомпозицию уравнения (16) выполним с помощью зависимостей (2), (5) — (7).

Таблица 1  
xy\zt 00 01 11 10

00		1		
01	1	1	1	
11		1		
10				

Таблица 2  
00 01 11 10

00				
01				1
11				
10		1		

Таблица 3  
00 01 11 10

00	1			
01				
11			1	
10				

Таблица 4  
00 01 11 10

00		1		
01	1	1	1	1
11		1		
10		1		

Таблица 5  
00 01 11 10

00	1	1		
01	1	1	1	
11		1	1	
10				

Таблица 6  
00 01 11 10

00	1		1	1
01				1
11	1		1	1
10				

Таблица 7  
00 01 11 10

00	1	1	1	1
01	1	1	1	1
11	1	1	1	1
10				

Таблица 8  
00 01 11 10

00	1		1	
01				
11	1		1	
10	1	1	1	

Таблица 9  
00 01 11 10

00	1	1	1	
01	1	1	1	
11	1	1	1	
10	1	1	1	

Таблица 10  
00 01 11 10

00	1		1	1
01				1
11	1			
10	1	1		

Таблица 11  
00 01 11 10

00	1		1	
01				
11	1			
10				

Таблица 12  
00 01 11 10

00			1	
01				
11				
10				

Таблица 13

	00	01	11	10
00			1	
01				1
11	1		1	1
10		1	1	

Таблица 14

	00	01	11	10
00	1			
01				1
11	1		1	1
10	1	1		

В роли  $C_2$  берем предикат из табл. 6, который дает наиболее простую формулу  $A_1 \equiv x^0 \vee y^1$  для предиката  $A_1 \equiv A \vee C_1$ , представленного в табл. 7. Стремление еще более упростить формулу путем добавления единиц в табл. 6 привело бы к неприемлемому предикату  $A_1 \equiv 1$ . Поскольку  $A_1 \neq A$ , формирования уравнений продолжаем. В роли  $C_2$  берем какой-нибудь другой предикат, также дающий простейшую формулу. Например, предикат в табл. 8 дает простейшую формулу для предиката  $A_2 \equiv A \vee C_2$  (табл. 9). Произведение  $C_1 C_2$  не равно тождественно нулю, поэтому двух полученных уравнений недостаточно. Предикат  $A_3 \equiv A \vee C_3$  формируем с таким расчетом, чтобы в диаграмме предиката  $C_1 C_2 C_3$  получить возможно меньшее число единиц. Выбранный по этому критерию предикат  $C_3$  представлен в табл. 10. Формула для предиката  $A_3$  в этом случае  $A_3 \equiv z^0 \vee x^0$ . Описанный процесс продолжаем до тех пор, пока не будет достигнуто выполнение условия (6). Предикаты  $C_1 C_2 C_3$ ,  $C_1 C_2 C_3 C_1$  представлены соответственно в табл. 11 и 12, а  $C_4$  и  $C_5$  — в табл. 13 и 14 соответственно. В этом случае формулы для предикатов  $A_4 \equiv A \vee C_4$  и  $A_5 \equiv A \vee C_5$  выглядят следующим образом:  $A_4 \equiv y^1 \vee t^1$ ,  $A_5 \equiv y^1 \vee z^0$ . Поскольку предикат  $c_1 c_2 c_3 c_4 c_5$  тождественно равен нулю, система уравнений

$$x_0 \vee y^1 = 1, z^0 \vee t^1 = 1, x^0 \vee z^0 = 1, y^1 \vee t^1 = 1, y^1 \vee z^0 = 1 \quad (20)$$

равносильно уравнению (16). В каждом уравнении системы (20) — 2 узнавания буквы. Всего в системе — 10 узнаваний, т. е. опять меньше, чем в исходном уравнении (16), но больше, чем в случае декомпозиции на 2 уравнения.

Поступила в редколлегию 25.04.89

УДК 621.391

Г. Д. ФРОЛОВ, А. А. ИВАНОВ, Н. Н. ЯРОСЛАВЦЕВА

#### АВТОМАТИЧЕСКОЕ ФОНЕМНОЕ СЕГМЕНТИРОВАНИЕ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Распознавание речевых образов (РО) на основе идентификации фонем по акустическим признакам, инвариантным к множе-

ству пользователей, возможно проводить при условии чистого выделения в речевом сигнале (РС) акустических носителей фонем. Поэтому распознавание РО должно включать в себя на первом этапе обработки анализ акустической структуры РС. Полный цикл обработки РС состоит из восходящего структурного анализа и нисходящего фонемного анализа. При этом значения акустических параметров, получаемые в ходе структурного анализа, используются затем для идентификации фонем. Верхний уровень акустической структуры составляют фонемноподобные фрагменты РС. По признаку способа образования они делятся на большие классы. Способ образования звука отражает соотношение энергии в высокочастотной ( $\xi_1$ ), среднечастотной ( $\xi_2$ ) и низкочастотной ( $\xi_3$ ) полосах кратковременного спектра РС. Статистический анализ экспериментального материала позволил установить следующее распределение энергии для стационарных звуков: глухие шипящие:  $\xi_1 > 90\%$ ; звонкие шипящие:  $\xi_1 > 45\%$ ; сонорные:  $\xi_3 > 45\%$ . Эффективно проводить анализ энергии РС на указанных полосах частот позволяет использование клиппированной речи.

Клиппированный сигнал (КС) получается из исходного после несложного преобразования

$$x(t) = f(t) / |f(t)|. \quad (1)$$

Задается КС последовательностью приращений параметра времени  $\{\tau_n\}$  при  $\tau_n = t_{n+1} - t_n$ , отсчеты которого совпадают с моментами нулевой интенсивности звуковой волны, поступающей на вход микрофона приемного устройства. В этом случае относительная энергия полосы спектра оценивается выражением

$$\xi = \Sigma \tau_n^* / \Sigma \tau_n, \quad \text{где } \tau_n^* = \tau_n \cdot \frac{\omega_1^{-1}}{2} < \tau_n < \frac{\omega_2^{-1}}{2}, \quad (2)$$

$\omega_1$  и  $\omega_2$  — нижняя и верхняя граничные частоты полосы.

Следует иметь в виду, что в непрерывном потоке речи звуки теряют акустическую устойчивость. Это выражается в нарушении стационарности характеристик фонем.

Установлено, в частности, что многие фонемы представляют собой сложные конструкции, распадающиеся на несколько фаз произнесения. Так, например, к фонемам [а], [ы], [о], [у] перед мягкими согласными добавляется призвук [и] (дать, суть, ось, быть).

Между двумя мягкими согласными фонема [а] приобретает в начале и в конце призвук [и] (мять, взять). Фонемы [о], [у] приобретают призвук [у] в начале и призвук [и] в конце (тетя). Ударное [о] начинается с очень короткого призвука [у] (подобно тому, как ударное [э] начинается с призвука [и]).

Добраться до высшего структурно-фонетического уровня позволяет поэтапный анализ акустической структуры РС. Исходный структурный уровень связан с периодической структурой РС. Такая структура присуща всем звукам кроме глухих шипящих. Про-

является она по дихотомической классификации частей РС, которую можно осуществить на значениях кратковременной функции автокорреляции (ФАК). Кратковременная ФАК определяется выражением

$$\langle t, nt \rangle = \frac{1}{nT} \int_t^{t+nt} x(t-nt)x(t) dt, \quad (3)$$

где  $T$  — средняя длительность основного тона (ОТ);  $n$  — целое положительное число.

Длительность основного тона РС выявляется через функцию (3) по критерию  $T = \max \langle t, T \rangle$ , где  $T_0$  — минимально возможная длительность периода ОТ.

Разбиение РС на квазипериодические участки производится на основе локальных максимумов функции (3) и по алгоритму

$$T_k = \arg \max \langle t_k, T \rangle, \quad t_k = t_{k-1} + t_{k-1},$$

где  $t_k = \sum_{m=1}^{nk} \tau_m$ .

Здесь  $\tau_n$  являются компонентами последовательности  $\{\tau_n\}$ , соответствующей особым точкам функции (1). Признаком резкой смены акустических свойств сигнала в момент времени  $t$  служит появление локального минимума функции (3), что выражается критерием

$$t = \arg \min_{\theta} \max_{nT} \langle \theta, nT \rangle.$$

Фактор, ограничивающий применимость функции (3), обусловлен чувствительностью к помехообразующим воздействиям, связанным в первую очередь с изменчивостью ОТ и нестабильностью фазового спектра РС, отражающих мелодию голоса. Поэтому на практике, применяя функцию (3), приходится ограничивать величину  $n$  таким образом, чтобы  $n \leq 3$ . Такого шага задержки оказывается недостаточно для устойчивого обнаружения границ многих звуко сочетаний, так как артикуляционная перестройка в ходе звуковых переходов занимает продолжительное по сравнению с длительностью ОТ время. От указанных недостатков относительно свободен метод обнаружения фонемных границ, основанный на анализе локальных максимумов функции

$$g(t) = \sum_n (\xi_n^- - \xi_n^+)^2, \quad (4)$$

где параметр  $\xi_n$  вычисляется по формуле (2) и равен относительной энергии в пределах  $n$ -й полосы кратковременного спектра РС на некотором его отрезке. При этом  $\xi^-$  и  $\xi^+$  относятся к отрезкам РС, каждый из которых соответственно оканчивается или начинается в точке. Оптимальная длина каждого из отрезков составляет от 7 до 9 длительностей периода ОТ. Количество полос спек-

тра, требуемое для надежного анализа РС по функции (4), составляет 6. При увеличении числа полос точность увеличивается, однако одновременно растет и реактивность метода к помехам. Поиск локальных экстремумов построен по алгоритму

$$t_n = \arg \max \{g(t) : (t > t_{n-1} + T_0^*) \wedge (g(t) > G_0)\},$$

где  $T_0^*$  и  $G_0^t$  определяются экспериментально, с учетом условий приема РС. Эта величина находится в обратной зависимости с количеством обнаруживаемых границ, на которые указывают экстремумы.

При использовании рассмотренных алгоритмов реализована на ЭВМ серии СМ автоматическая система предварительной обработки РС. Производимая обработка включает в себя следующие стадии: анализ периодической структуры РС; обнаружение пауз и участков пониженной энергии РС; выявление границ между сегментами; фонетическая классификация верхнего уровня фрагментов РС.

Практическая работа системы в условиях средней зашумленности показала, что существует оптимальный режим функционирования, при котором разделяются практически все звуки в РС. На словаре объемом свыше 100 слов проверено, что отношение среднего количества сегментов в словах к количеству составляющих их звуков не превышает 1,5.

*Поступила в редколлегию 22.01.90*

УДК 621.391

*Т. Б. КОРНЕЙЧУК, Г. Д. ФРОЛОВ, А. Ф. ЧУДИНА*

### **СИСТЕМА ФОРМАЛЬНЫХ ПРАВИЛ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЛАВНЫХ ЧЛЕНОВ ПРЕДЛОЖЕНИЯ В ИСХОДНОМ ТЕКСТЕ**

**Введение.** Выделение главных членов предложения (подлежащего и сказуемого) — одна из основных проблем синтаксического анализа текста, решение которой позволит выделять основные смысловые единицы предложения.

Описанная в данной работе система формальных правил определения главных членов предложения использует систему данных.

Пусть  $R$  — множество простых повествовательных предложений русского языка, не содержащих однородных членов. Элементы множества  $R$  обозначим через  $p$ . Каждый элемент  $p \in R$  состоит только из подмножества всех слоёв  $C_p \subset R$ , где  $C_p = \{C_p^1, C_p^2, \dots, C_p^n\}$ , каждое  $C_p^i$  — слово предложения,  $p, C$  — множество всех слов русского языка. Нумерация элементов множества  $C_p$  осуществляется с начала предложения.

Схема определения сказуемых на I этапе

1	2	3	4	5
	ГсГн	ГсГнСт, ГсГнПРГт, ГсГнПРЧт, ГсГнПРГк, ГсГнПРЧк, ГсГнПРГср. ст.	ГсГнПРЧтГн ГсГнПРТГн ГсГнСтГн	
Гс	ГнГс ГсПРГк ГсПРЧк ГсПРГср. ст. ГсКС ГсПРГн ГсПРЧн ГсПРГт ГсПРЧт ГсСи ГсСр ГсСд ГсСв ГсСт ГсСп	ГнГсКС, ГнГсПРГк(о) ГсПРГкГн ГсПРЧкСт  ГсКСГн  ГсПРГтГн ГсПРЧтГн ГсСиГн  ГсСвГн ГсСтГн ГсСпГн		
ПРГж	ПРГкГс ГнПРГк ПРГкГн	ПРГкГсГн ПРГкГнСт, ПРГкГнПРГт, ПРГкГнПРГср. ст. ПРГкГнПРГк, ПРГкГнПРЧк, ПРГкГнПРЧт	ПРГкГсГнПРЧк ПРГкГсГнПРГк ПРГкГсГнПРГт ПРГкГсГнПРЧг ПРГкГсГнПРГср. ст.	ПРГкГсГнПРЧк{Гн} ПРГкГсГнПРГк{Гн} ПРГкГсГнПРГт{Гн} ПРГкГсГнПРЧт{Гн}
КС	КСГн ГнКС КСГс	КСГсГн		
ПРЧк	ПРЧкГс			

Через  $k_0$  обозначим число  $\max_{p \in R} \{|C_p|/|C_p|\}$  — мощность множества  $C_p$ . Число  $k_0 \in N$  конечно, так как множество всех слов  $C$  есть конечное множество.

Через  $\text{exp}_{k_0} C$  обозначим семейство  $\{C_\alpha/C_\alpha \subset C\}$  всевозможных подмножеств  $C_\alpha \subset C$ , состоящих не более чем из  $k_0$  элементов, т. е.

$$\text{exp}_{k_0} C = \{C_\alpha \subset C \mid |C_\alpha| \leq k_0\}.$$

Рассмотрим элемент  $p \in R$ . Этому элементу соответствует единственное подмножество  $\dot{C}_p \subset C$ , называемое носителем — предложению  $p \in R$ . Следовательно,  $C_p \in \text{exp}_{k_0} C$ , где  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$ , так как  $|C_p| \leq R_0$ .

Значит, существует соответствие между множеством  $R$  и  $\text{exp}_{k_0} C$ . Это соответствие обозначим через  $\text{sup}(p)$ , т. е.  $\text{sup}(p): R \rightarrow \text{exp}_{k_0} C$ . Отображение  $\text{sup}(p)$  многозначно, так на каждому элементу  $p \in R$  сопоставляет его носитель.

Возьмем произвольный элемент  $p \in R$ . Рассмотрим его образ  $\text{sup}(p): R \rightarrow \text{exp}_{k_0} C$ , т. е.  $\text{sup}(p) = C_p \in \text{exp}_{k_0} C$  — его носитель. Выделим среди элементов носителя  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  подлежащее и сказуемое.

Правила определения главных членов предложения заключаются в последовательном выполнении шести этапов.

1 этап. Определяются сказуемые, относящиеся к классам  $s_1 s_2 s_3$  [1]. Правила определения сказуемых на данном этапе отражены в таблице.

Элементы носителя  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^1$ , сопоставляем с элементами графы 1. Возможны два случая:

$A_1$ : не существует такого  $i_0 \in \{1, 2, \dots, n\}$ , что  $C_p^{i_0}$  является элементом графы 1. В этом случае следует перейти ко II этапу определения главных членов предложения.

$B_1$ : существует один единственный  $i_0 \in \{1, 2, \dots, n\}$  такой, что  $C_p^{i_0}$  является элементом графы 1. Возможны два случая:  $B_{11}$ :  $C_p^{i_0}$  — последний элемент множества  $C_p$ . В этом случае элемент  $C_p^{i_0}$  объявляем сказуемым. В зависимости от содержания элемента  $C_p^{i_0}$  определяется соответствующее подлежащее. (Для всех остальных сказуемых, определяемых на 1 этапе, поиск подлежащего осуществляется в зависимости от содержания сказуемого, поэтому будем говорить только об определении сказуемых).

$B_{12}$ :  $C_p^{i_0}$  не является последним элементом множества  $C_p$ . Элементы  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^{i_0+1}$ , сопоставляем с правым компонентом структурного представления сказуемых, расположенных в графе 2 раздела, соответствующего  $C_p^{i_0}$  (в случае  $B_{11}$ , здесь и далее рассуж-

дения проводятся для случая, когда  $C_p^{i_0}$  является левым компонентом структурного представления сказуемых из графы 2). Когда  $C_p^{i_0}$  является правым компонентом структурного представления сказуемых из графы 2, проводят аналогичные рассуждения для элементов  $\{C_p^{i_0-1}, C_p^{i_0-2}, \dots, C_p^1\}$ .

Возможны два случая:

$A_2$ : не существует  $i'_0 \in \{i_0 + 1, i_0 + 2, \dots, n\}$  такого, что  $C_{p_0}^{i'_0}$  является правым компонентом структурного представления сказуемых, расположенных в графе 2 раздела, соответствующего  $C_p^{i_0}$ . Тогда элемент  $C_p^{i_0}$  объявляется сказуемым.

$B_2$ : существует  $i'_0 \in \{i_0 + 1, i_0 + 2, \dots, n\}$  такой, что  $C_{p_0}^{i'_0}$  является правым компонентом структурного представления сказуемых, расположенных в графе 2 раздела, соответствующего  $C_p^{i_0}$ . Если  $C_p^{i_0}$  — последний элемент предложения  $p \in R$ , то объединенная запись слов  $C_{p_0}^{i'_0} C_p^{i_0}$  объявляется сказуемым. Подлежащее, соответствующее такому сказуемому, определяется в зависимости от содержания элемента  $C_p^{i_0}$ . (Для всех остальных многокомпонентных сказуемых, определяемых на 1 этапе, определение подлежащего также будет осуществляться по компоненту  $C_p^{i_0}$ ).

Если же  $C_{p_0}^{i'_0}$  не является последним элементом в предложении  $p \in R$ , т. е.  $i'_0 < n$ , то элементы  $\{C_{p_0}^{i'_0+1}, C_{p_0}^{i'_0+2}, \dots, C_{p_0}^n\}$  поочередно, начиная с элемента  $C_{p_0}^{i'_0+1}$ , сопоставляются с элементами, являющимися третьим компонентом структурного представления сказуемых, расположенных в графе 3 раздела, соответствующего  $C_{p_0}^{i'_0}$  (если графа 3 не является пустой). Здесь также возможны два случая:

$A_3$ : не существует  $i''_0 \in \{i'_0 + 1, i'_0 + 2, \dots, n\}$  такой, что  $C_{p_0}^{i''_0}$  является элементом графы 3 раздела, соответствующего  $C_{p_0}^{i'_0}$ . Тогда объединенная запись слов  $C_{p_0}^{i'_0} C_{p_0}^{i'_0}$  объявляется сказуемым.

$B_3$ : существует единственный  $i''_0 \in \{i'_0 + 1, i'_0 + 2, \dots, n\}$  такой, что  $C_{p_0}^{i''_0}$  является элементом графы 3 раздела, соответствующего  $C_{p_0}^{i'_0}$ . Если  $C_{p_0}^{i''_0}$  — последний элемент множества  $C_{p_0}$ , т. е.  $i''_0 = n$ , то объединенная запись слов  $C_{p_0}^{i'_0} C_{p_0}^{i'_0} C_{p_0}^{i''_0}$  объявляется сказуемым.

Если  $C_p^{i_0}$  не является последним элементом множества  $C_p$ , т. е.  $i_0 \neq n$ , то элементы  $\{C_p^{i_0}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  поочередно, начиная с элемента  $C_p^{i_0+1}$ , сопоставляются с элементами, являющимися четвертым компонентом структурного представления сказуемых, расположенных в графе 4 раздела, соответствующего  $C_{p0}^{i_0}$  (если графа 4 не является пустой) и т. д.

*Пример (к таблице). Закон должен быть распространен на целостное развитие данного языка.*

В этом предложении сказуемым является *должен быть распространен* (структурное представление ПРГКГнПРЧк).

Поиск этого сказуемого в соответствии с таблицей осуществляется следующим образом.

1) Определение первого компонента искомого сказуемого.

Слева направо до точки производим последовательный просмотр слов предложения на предмет их идентификации с Гс, ПРГк, ПРЧк, КС (элементы графы 1). В результате такого просмотра определяется первый компонент искомого сказуемого — ПРГк.

2) Определение второго компонента искомого сказуемого. Справа от первого найденного компонента до точки производим последовательный просмотр слов предложения на предмет их идентификации с правым компонентом структурного представления сказуемых, расположенных в графе 2 раздела, соответствующего ПРГк, которым могут быть либо Гн, либо Гс. В результате поиска определяется второй компонент искомого сказуемого — Гн.

3) Определение третьего компонента искомого сказуемого. Справа от второго компонента до точки производим последовательный просмотр слов предложения с целью их идентификации с третьим компонентом структурного представления сказуемых, расположенных в графе 3 раздела, соответствующего ПРГКГн, которым могут быть Ст, ПРГт, ПРЧт, ПРГср. ст., ПРГк, ПРЧк, ПРЧт. В результате поиска определяется третий компонент сказуемого — ПРЧк.

4) В соответствии с таблицей дальнейший поиск компонентов структурного представления искомого сказуемого прекращается.

Для найденного сказуемого соответствующее ему подлежащее определяется по компоненту ПРГк (ед. ч.; м. р.).

Подлежащим будет слово *закон* со следующей грамматической информацией: С (ед. ч.; м. р.; и. п.).

II этап. Определяются сказуемые, относящиеся к классу  $s_4$  [1].

Элементы носителя  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^1$ , сопоставляем с неопределенной формой глагола (Гн). Возможны два случая:

$A_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  не существует слова, яв-

ляющегося неопределенной формой глагола. В этом случае следует перейти к III этапу определения главных членов предложения.

$B_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , являющееся неопределенной формой глагола. В этом случае среди элементов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  предложения  $p$  производим поиск еще одной неопределенной формы глагола. Для этого элементы  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^{i_0+1}$ , сопоставляем с неопределенной формой глагола (Гн).

Возможны два случая:

$A_2$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  существует слово  $C_p^{j_0}$ , являющееся неопределенной формой глагола. В этом случае первая неопределенная форма глагола  $C_p^{i_0}$  объявляется подлежащим, а вторая неопределенная форма глагола  $C_p^{j_0}$  — сказуемым данного предложения.

$B_2$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  не существует слова  $C_p^{j_0}$ , являющегося неопределенной формой глагола. В этом случае среди элементов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  производим поиск имени (И). Для этого элементы  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^1$ , сопоставляем с именем. Возможны два случая:

$A_3$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  существует слово  $C_p^j$ , являющееся именем. В этом случае поступим следующим образом:

если  $C_p^{i_0}$  и  $C_p^j$  разделены знаком тире, то  $C_p^{i_0}$  объявляем подлежащим, а  $C_p^j$  — сказуемым;

если  $i_0 > j$ , то  $C_p^{i_0}$  объявляем сказуемым, а  $C_p^j$  — подлежащим;

если  $i_0 = j + 1$ ,  $C_p^j$  и  $C_p^{i_0}$  разделены знаком тире, а слово  $C_p^{j-1}$  является одним из элементов множества  $D = \{\text{Это, вот, значит}\}$ , то  $C_p^j$  объявляем сказуемым, а  $C_p^{i_0}$  — подлежащим.

$B_3$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  не существует слова  $C_p^j$ , являющегося именем. В этом случае рассмотрим слово  $C_p^{i_0+1}$ . Возможны два случая:

$A_4$ : слово  $C_p^{i_0+1}$  является существительным одного из косвенных падежей и отделено от слова  $C_p^{i_0}$  знаком тире. В этом случае слово  $C_p^{i_0+1}$  объявляем сказуемым, а слово  $C_p^{i_0}$  — подлежащим.

$B_4$ : слово  $C_p^{i_0+1}$  не является существительным одного из косвенных падежей или слово  $C_p^{i_0+1}$  является существительным одного из косвенных падежей, но не отдельно от  $C_p^{i_0}$  знаком тире.

В этом случае слово  $C_p^{i_0}$  объявляется главным членом односоставного предложения  $p$  (односоставное предложение — предложение с одним главным членом).

III этап. Определяются сказуемые, относящиеся к классу  $s_5$  [1].

Элементы носителя  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^1$ , сопоставляем со словом *нет*. Возможны два случая:

$A_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  не существует слова *нет*. В этом случае следует перейти к IV этапу определения главных членов предложения.

$B_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , являющееся словом *нет*. В этом случае среди элементов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  производим поиск прилагательного сравнительной степени (ПРГ ср. ст.). Для этого элементы  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^{i_0+1}$ , сопоставляем с прилагательным сравнительной степени. Возможны два случая:

$A_2$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  не существует слова, являющегося прилагательным сравнительной степени. В этом случае слово *нет* объявляется сказуемым. Подлежащего у такого сказуемого нет.

$B_2$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , являющееся прилагательным сравнительной степени. В этом случае объединенная запись слов  $C_p^{i_0} C_p^{i_0}$  объявляется сказуемым. Подлежащего у такого сказуемого нет.

IV этап. Определяются сказуемые, относящиеся к классу  $s_6$  [1].

Элементы носителя  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^1$ , сопоставляем с прилагательным сравнительной степени (ПРГ ср. ст.). Возможны два случая:

$A_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  не существует слова, выраженного прилагательным сравнительной степени. В этом случае следует перейти к V этапу определения главных членов предложения.

$B_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , выраженный прилагательным сравнительной степени. В этом случае  $C_p^{i_0}$  объявляется сказуемым.

V этап. Определяются сказуемые, относящиеся к классам  $s_7-s_{18}$  [1].

Элементы носителя  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^1$ , сопоставляем с именем (И). Возможны два случая:

$A_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  не существует слова, являющегося именем. В этом случае следует перейти к VI этапу определения главных членов предложения.

$B_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = \overline{1, n}\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , являющееся именем. В этом случае среди элементов  $\{C_p^{i_0-1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  предложения  $p$  производим поиск еще одного имени. Для этого элементы  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  поочередно начиная с первого элемента  $C_p^{i_0+1}$ , сопоставляем с именем. Возможны два случая:

$A_2$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , являющееся именем. В этом случае поступим следующим образом:

если  $C_p^{i_0}$  и  $C_p^{i_0}$  разделены знаком тире, а слово  $C_p^{i_0-1}$  является одним из элементов множества  $D = \{\text{это, вот, значит}\}$ , то  $C_p^{i_0}$  объявляется сказуемым, а  $C_p^{i_0}$  — подлежащим;

если  $C_p^{i_0}$  и  $C_p^{i_0}$  разделены знаком тире, то  $C_p^{i_0}$  объявляется подлежащим, а  $C_p^{i_0}$  — сказуемым;

если  $C_p^{i_0}$  и  $C_p^{i_0}$  не разделены знаком тире, то:

1) если один из элементов  $\{C_p^{i_0}, C_p^{i_0}\}$  является личным местоимением, то этот элемент объявляется подлежащим, тогда другой элемент — сказуемое;

2) если один из элементов  $\{C_p^{i_0}, C_p^{i_0}\}$  является местоимением *кто* или *что*, то элемент объявляется сказуемым, тогда другой элемент — подлежащее;

3) в случаях, отличных от 1), 2), элемент  $C_p^{i_0}$  объявляется подлежащим, а  $C_p^{i_0}$  — сказуемым.

$B_2$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  не существует слова, являющегося именем. В этом случае рассмотрим слово  $C_p^{i_0-1}$ . Возможны два случая:

$A_3$ : слово  $C_p^{i_0-1}$  является существительным в родительном падеже (Ср) или дательном (Сд) падеже и отделено от слова  $C_p^{i_0}$  знаком тире. В этом случае слово  $C_p^{i_0-1}$  объявляется подлежащим, а слово  $C_p^{i_0}$  — сказуемым.

$B_3$ : слово  $C_p^{i_0-1}$  не является существительным в родительном или дательном падеже или же слово  $C_p^{i_0-1}$  является существительным в родительном или дательном падеже, но не отделено от  $C_p^{i_0}$  знаком тире. В этом случае среди элементов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$

$C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n$  производим последовательный поиск элементов множества  $E = \{C_p, C_d, C_t \text{ (без предлога), } C \text{ косв. п., } Ч \text{ косв. п. (собирательное), } Чт \text{ (порядковое), } Н, \text{ междометие, деепричастие, } М \text{ косв. п.}\}$ . Для этого все элементы  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^{i_0+1}$ , сопоставляем сначала с существительным в родительном падеже ( $C_p$ ), затем с существительным в дательном падеже ( $C_d$ ), затем с существительным в творительном падеже ( $C_t$ ) и т. д. Возможны два случая:

$A_4$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  не существует слова, выраженного одним из элементов множества  $E$ . В этом случае слово  $C_p^{i_0}$  объявляем главным членом односоставного предложения.

$B_4$ : среди слов  $\{C_p^{i_0+1}, C_p^{i_0+2}, \dots, C_p^n\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , являющееся одним из элементов множества  $E$ . В этом случае элемент  $C_p^{i_0}$  объявляется сказуемым, а  $C_p^{i_0}$  — подлежащим.

VI этап. Элементы носителя  $C_p = \{C_p^i, i = 1, n\}$  поочередно, начиная с первого элемента  $C_p^1$ , сопоставляем с существительным одного из косвенных падежей. Возможны два случая:

$A_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = 1, n\}$  существует слово  $C_p^{i_0}$ , являющееся существительным одного из косвенных падежей. В этом случае слово  $C_p^{i_0}$  объявляем главным членом односоставного предложения.

$B_1$ : среди слов  $C_p = \{C_p^i, i = 1, n\}$  не существует слова, являющегося существительным одного из косвенных падежей. В этом случае главных членов в предложении нет.

Описанная система формальных правил определения главных членов предложения будет использована для определения однородных главных членов предложения, а также для разбиения сложных предложений на простые.

*Поступила в редколлегию 20.01.90*

УДК 510.62

*В. К. ВОЙНОВ*, канд. филол. наук, *И. В. ЛИТВИНЕНКО*, канд. филол. наук, *Н. А. НЕВЬЯНЦЕВА*, *Ю. В. ОРАЧ*, *В. Г. УСКОВ*

### ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОЦЕЛЕВОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕБНОГО КУРСА ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

При построении автоматизированных учебных курсов АУК необходимо в рамках одной непротиворечивой концепции дать обоснование и практически реализовать в реально действующей си-

стеме решение вопросов о цели и содержании обучения (*чему учить?*), объекте обучения (кого учить?), методе обучения (*как учить?*). За каждым из этих вопросов может стоять комплекс не просто и не быстро решаемых задач, которые для случая преподавания иностранных языков осложняются тем, что объектом описания и средством является все тот же естественный язык. Интерес к названным вопросам объясняет появление работ, посвященных решению отдельных вопросов, связанных с АУК по иностранным языкам, исходя из предположения, что остальные каким-то образом уже решены.

Нами предпринята попытка описать общий подход к организации многоцелевого учебного курса по иностранному языку, при этом под «многоцелевым» характером АУК подразумевается, что АУК в предложенной организации может применяться практически ко всем проблемам, возникающим при изучении иностранного языка аналитического строя. Подход иллюстрируется на примере обучения деятельности по распознаванию и синтезу временно-видовых форм английского глагола на неязыковых факультетах вузов.

Как видно из сказанного выше, *чему учить?* можно разбить на два подвопроса: *каков предмет обучения?* и *каковы цели обучения?* Первый из них непосредственно связан с нахождением максимально эксплицитной и адекватной формы репрезентации предмета обучения. Были выдвинуты следующие требования к инструменту репрезентации некоторой модели предмета обучения: а) модель изучаемого явления должна дать возможность построить настолько крупную структуру, чтобы обеспечить нужное покрытие предмета обучения; б) построенная модель должна максимально учитывать то, что у обучающегося разные аспекты собственного языкового опыта уже заложены в разных структурах памяти; в) знания, представленные в модели, должны быть организованы «кусками», которые используются всякий раз, когда в них возникает ситуационная необходимость; г) модель должна представлять необходимые контекстные знания по нисходящему принципу «сверху вниз» и по восходящему принципу «снизу вверх».

Из требований а) — г) следует, что авторы разделяют подход тех ученых [1], которые наиболее приемлемой формой представления знаний считают те, которые непосредственно связаны и в некоторой степени детерминируются формами организации памяти. Последние, в частности, по данным [2], могут подаваться репрезентации средствами концептуальных схем. Именно поэтому нами предлагается ввести две модели: концептуальную схему предмета изучения (модель предмета —  $M_{пр}$ ) и модель целей обучения ( $M_{цель}$ ). Концептуальная схема  $M_{пр}$  и модель  $M_{цель}$  явились базовыми составляющими лингвистического обеспечения АУК по временно-видовым формам английского глагола.

В качестве  $M_{пр}$  было предложено использовать концептуальную схему соотношения реального времени и грамматических форм английского глагола, основные особенности которой описаны

нами в работе [3]. Предложенная концептуальная схема вполне согласуется с положениями школы английской коммуникативной грамматики Дж. Лича. Это выражено прежде всего в коммуникативной направленности нашей схемы: прохождение по одной из ветвей схемы от концепта реального времени (например, концепта BEFORE NOW) через ряд концептов, связанных с семантической интерпретацией некоторой временно-видовой формы (допустим, концептов EVENT, INDEFINITE) до концепта некоторой временно-видовой формы (в данном случае PRESENT PERFECT) гарантирует правильное коммуникативное употребление этой формы. А сама ветвь концептуальной схемы, объединяющая концепты и задающая отображение, представляет собой по сути одну из тем изучаемого курса, усвоение которой гарантирует обучаемому коммуникативный успех.

В концептуальной схеме, задающей отображение реального времени во временно-видовые формы английского глагола, нами был определен круг изучаемых тем на базе незначительного количества концептов, куда входят концепты реального времени (NOW, THEN, BEFORE NOW, ...), собственно семантические концепты (EVENT, STATE, HABIT, ...) и концепты временно-видовых форм (PRESENT INDEFINITE, PAST CONTINUOUS, PRESENT PERFECT, ...). Построенная таким образом концептуальная схема удовлетворяет требованиям а) — г).

Указанное множество концептов явилось семантическим ядром для объяснения соответствующего языкового материала в процессе преподавания, а словесная актуализация этих концептов составила основной словарь метаязыка описания временно-видовых форм английского глагола для достижения целей, задаваемых моделью целей  $M_{\text{цель}}$ .

В качестве модели целей  $M_{\text{цель}}$  было предложено логическое объединение целей и подцелей, которых необходимо достичь обучаемому в ходе изучения АУК, а также факторов, определяющих пути достижения этих целей.  $M_{\text{цель}}$  включала следующие конечные цели для рассматриваемого АУК: а) правильно распознать временно-видовую форму английского глагола; б) правильно перевести соответствующую форму на русский язык; в) правильно построить некоторую временно-видовую форму глагола на английском языке; г) адекватно использовать соответствующую временно-видовую форму в английской речи. Каждая из указанных целей может быть достигнута на одном из следующих уровней: знакомство, репродукция, умение, трансформация.

Таким образом, становится очевидным, что одна из особенностей модели  $M_{\text{цель}}$  — ее двунаправленность: цели а), б) направлены на анализ речевых сообщений, а цели в), г) — на синтез правильных высказываний. Другая не менее важная особенность — выделение уровней овладения изучаемым материалом. В силу первой особенности АУК, построенный согласно предлагаемой концепции, должен иметь два направления изложения учебного материала (и, соответственно, его усвоения): от поверхностного

к глубинному (анализ) и от глубинного к поверхностному (синтез), допускаются смешанные фрагменты, на которых даются параллельные пояснения и упражнения как к синтезу, так и к анализу. В силу второй особенности модели  $M_{цель}$  учебный материал излагается по-разному в зависимости от уровня достижения конечной цели. На практике это выражается в переходе на ту или иную ветку программ в зависимости от цели и объявленного желаемого уровня достижения ее, при этом одним из условий перехода является уровень знаний обучаемого (см. ниже вопрос *кого учить?*). В случае, когда обучаемый желает добиться цели на самом высоком уровне и система тестов показывает, что его знания достаточны, нами предусмотрен переход к курсам повышенной сложности [4].

Итак, мы видим, что ответ на вопрос *как учить?* во многом зависит от решения вопроса *чему учить?* (Здесь и далее наши рассуждения будут отличаться некоторой упрощенностью и схематичностью, что связано с частным характером конкретной решаемой нами прикладной задачи). Проблема *как учить* связана с решением проблемы создания корректной модели объекта обучения —  $M_{объект}$ , т. е. *кого учить?*

Модель  $M_{объект}$  представляет собой логическое объединение факторов, отражающих уровень знаний, умений и навыков, накопленных в предшествующем индивидуальном опыте обучаемых, которым предстоит работа с АУК.

Проведенные нами исследования определенного контингента обучаемых английскому языку на неязыковых факультетах позволил нам в качестве основных элементов множества факторов, составляющих модель объекта обучения  $M_{объект}$ , выделить следующие: знания школьной программы, необходимые для достижения перечисленных выше целей а) — г) (слабые, средние, сильные); уровень тревоги по отношению к диалогу с ЭВМ (нормальный, повышенный); способ мышления (от общего к частному, от частного к общему, смешанный); способ усвоения материала (дедуктивный, индуктивный, смешанный); уровень мотивации в овладении знаниями о временно-видовых формах английского глагола (низкий, средний, высокий); уровень желания общаться в ЭВМ для приобретения соответствующих навыков (низкий, высокий, средний).

Перечисленные компоненты модели объекта обучения ( $M_{объект}$ ) во многом определили особенности методологии АУК по временно-видовым формам глаголов, т. е. ответ на вопрос *как учить?*

Так, АУК по временно-видовым формам глагола ориентирован на определенный исходный уровень знаний обучаемых, предполагающий их умение, как минимум, распознать подлежащее. Однако в зависимости от уровня знаний, определяемого через систему соответствующих тестов, возможен переход либо к автоматизированным курсам повышенной сложности [4], либо к различным ветвям обучающей программы. Наличие же студентов с повышенным уровнем беспокойности по отношению к диалогу с ЭВМ привело

к необходимости быть особо внимательными при квантировании учебной информации, добываясь уровня, обеспечивающего обучаемому максимальную комфортность.

В связи со стремлением авторов в какой-то мере учесть различные способы мышления и, соответственно, способы усвоения материала предложенный нами АУК разворачивается в двух основных направлениях: от схемы через систему комментариев, упражнений и иллюстраций к живому речевому материалу и от речевого материала через систему иллюстраций, комментариев и упражнений к схеме. Причем к основному словарю метаязыка описания временно-видовых форм глагола, в который входят концепты предложенной концептуальной схемы, добавлены элементы школьной терминологической системы, так как именно в этих терминах многие студенты формулировали свое недовольство школьными знаниями и выдвигали в качестве одного из мотивационных моментов желание преодолеть свое непонимание временно-видовых форм, идущее еще со школы.

Что касается стремления приобрести навыки работы с ЭВМ, то большинство студентов проявили желание работать с развитыми базами данных, выступая, по возможности, не только в качестве пассивных обучаемых, но и конструкторов отдельных фрагментов, курса, что вполне согласуется с выбранной авторами концепцией АУК как базы данных.

Предложенный способ организации АУК позволяет построить оптимальную учебную программу, дающую возможность осуществлять самостоятельную познавательную деятельность с периодической коррекцией на отдельных этапах. Алгоритм учебной программы предусматривает возможность подключения практически любого количества расширений.

**Список литературы:** 1. Grosz B. The representation and use of focus in a system for understanding dialogues//Proc. 5-th IJCAI. 1977. P. 67—76. 2. Шенк Р., Бирнбаум Л., Мей Дж. К интеграции семантики и прагматики//Новое в зарубеж. лингвистике. 1989. Вып. 24. С. 32—49. 3. Войнов В. К., Литвиненко И. В., Орач Ю. В. О роли и особенностях организации семантических знаний в диалоговых автоматизированных обучающих системах по иностранному языку//Пробл. бionики. 1990. Вып. 45. С. 47—50. 4. Реализация алгоритмического подхода при разработке автоматизированных учебных курсов по иностранному языку//В. Г. Усков, Н. А. Невьянцева, Н. А. Волкова, Е. В. Васильева//Интенсификация учеб. процесса на основе использования компьютер. техники: Тез. докл. респ. науч.-метод. совещ. Душанбе, 1988. С. 36—37.

*Поступила в редколлегию 20.03.90*

*А. Н. МИКИТЮК, В. Г. ВАЙНЕР, Д. В. АННОПОЛЬСКИЙ,  
Е. М. РЯБЧИНСКАЯ*

## **ДИАЛОГОВАЯ ТРЕНАЖЕРНАЯ СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ**

Загрязнение окружающей среды — следствие глобального техногенеза. Сохранить природу, восстановить нарушенное экологическое равновесие можно лишь при участии специалистов всех уровней: ученых, инженеров, преподавателей. Важной проблемой является специальное экологическое воспитание населения с учетом современного состояния развития биологических наук и с применением современных методов математического моделирования и средств вычислительной техники.

В Харьковском государственном педагогическом институте ведутся работы по экологическому воспитанию студентов с использованием персональных ЭВМ. Разработке математического обеспечения интеллектуальной обучающей системы типа тренажер для экологического воспитания посвящена настоящая работа.

Главным отличием тренажерной системы для экологического воспитания от традиционных обучающих систем является активное участие в процессе тренажа преподавателей (тренеров). Задача тренеров заключается в обеспечении обучаемого описанием начальной экологической ситуации, оценке действий на отдельных этапах обучения, усложнении или упрощении ситуации путем ввода дополнительных условий. Процесс обучения в этом случае идет как бы в двух направлениях. С одной стороны, моделирование ситуаций, переход от этапа к этапу, оценка локальных решений — выполняется ЭВМ, с другой — преподаватель определяет глобальную стратегию процесса обучения, подбирает с учетом индивидуальных особенностей каждого обучаемого степень сложности решаемых задач, помогает выходить из критических ситуаций.

Определим тренажерную систему как программно-техническое средство, предназначенное для профессиональной подготовки и обучения, реализующее модель реальной среды и обеспечивающее контроль деятельности обучаемого, необходимо выделить круг задач, при решении которых отрабатываются и совершенствуются знания и навыки. В данном тренажере, предназначенном для экологического воспитания, к таким задачам относятся:

1) составление моделей различных экологических систем, что включает: численное задание параметров, их точности; установление связей между переменными экосистем; определение вида дифференциальных уравнений для детерминированных и стохастических моделей; разрешение проблемы единственности при моделировании сложных систем [1];

2) прогнозирование последствий, которые повлекут за собой принимаемые тренируемым решения по изменению входных параметров моделей экосистем, обучение оптимальному управлению состоянием экосистем [2];

3) определение ключевых понятий математического моделирования экологических систем и обучение им в режиме электронного учебника.

Рассмотрим перечисленные задачи более подробно. Математические модели, применяемые в экологических задачах, решаемых в рамках разрабатываемого тренажера, можно классифицировать на динамические, стохастические и многомерные. Динамические модели могут быть описаны или дифференциальными, или матричными уравнениями. Для динамических моделей, описываемых дифференциальными уравнениями, важными моментами являются: темп изменения переменных динамической системы, связи между переменными, структуры связей (описываемые графами). Для динамических моделей с матричными уравнениями — выделение наиболее важных переменных, определение матриц, представление состояний в пространстве собственных векторов, определение асимптотического состояния системы с помощью главного собственного вектора и главного собственного числа.

**Пример 1.** Пусть есть популяция, которая для своей жизнедеятельности пользуется внешними источниками энергии. Будем считать, что внешних воздействий на нее нет. Общую биомассу всех животных или их численность, меняющуюся непрерывно, обозначим через  $m(t)$ . За интервал времени  $\Delta t$  изменение системы  $m(t+\Delta t) - m(t)$  происходит под воздействием процесса размножения особей и процесса естественной смерти. Производную  $\dot{m}(t)$  представим в виде  $\dot{m}(t) = c_1 s_1 - c_2 s_2$ , где  $c_1$ ,  $c_2$  — коэффициенты;  $c_1 s_1$  — интенсивность естественной смерти в популяции,  $c_2 s_2$  — интенсивность процесса размножения. Пусть  $m(t)$  — число особей в какой-то момент времени  $t$ , который имеет внешний источник энергии  $E(t)$ , способный обеспечить нормальную их жизнедеятельность. Тогда, если  $m(t) < E(t)$ , то особи не испытывают недостатка в пище и, следовательно, интенсивность их размножения будет пропорциональной. Если  $m(t) > E(t)$ , то процесс размножения  $s_1$  будет пропорционален только  $E(t)$ , т. е.  $s_1 = \min\{m(t), E(t)\}$ . Дифференциальное уравнение, описывающее скорость изменения численности популяции, следующее:

$$\dot{m}(t) = \begin{cases} s_1 m(t) - s_2 m(t), & \text{при } m(t) \leq E(t) \\ s_1 E(t) - s_2 m(t), & \text{при } m(t) > E(t). \end{cases} \quad (1)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$m(t) = \begin{cases} m_0 e^{(s_1 - s_2)t}, & \text{при } m(t) \leq E(t); \\ m_0 e^{-s_2 t} + \int_0^t s_1 E(\tau) e^{-s_2(t-\tau)} d\tau, & \text{при } m(t) > E(t). \end{cases} \quad (2)$$

Если  $E(t)$  постоянная функция, то (1) записывается так:

$$m(t) = \begin{cases} m_0 e^{(s_1 - s_2)t}, & \text{при } m(t) \leq E(t); \\ m_0 e^{-s_2 t} + \frac{s_1 E}{s_2} (1 - e^{-s_2 t}), & \text{при } m(t) > E(t). \end{cases} \quad (3)$$

Если  $s_1 < s_2$ , тогда  $s_1 - s_2 < 0$  и  $\frac{s_1 E}{s_2} < E$  (при  $m(t) \leq E$ ), то показатель экспоненты отрицательный и численность популяции никогда не будет превышать  $E$ , т. е. всегда будет описываться уравнением  $m(t) = m_0 e^{(s_1 - s_2)t}$ . При  $t \rightarrow \infty$ ,  $m(t) \rightarrow 0$ , т. е. если популяция вымирает, ее численность убывает по показательному закону. Если  $m_0 > E$ , то численность популяции описывается уравнением

$$m(t) = m_0 e^{-s_2 t} + \frac{s_1 E}{s_2} (1 - e^{-s_2 t}). \quad (4)$$

В этом случае она будет уменьшаться. Если  $s_1 > s_2$ , то при  $m_0 > E$  динамика численности популяции в начальный период времени будет описываться уравнением (4). Перепишем его в виде

$$m(t) = \frac{s_1 E}{s_2} + \left( m_0 - \frac{s_1 E}{s_2} \right) e^{-s_2 t}.$$

При  $t \rightarrow \infty$ ,  $m(t) \rightarrow \frac{s_1 E}{s_2}$  и монотонно возрастает, если  $E < m_0 <$

$\frac{s_1 E}{s_2}$ , и монотонно убывает, если  $m_0 < \frac{s_1 E}{s_2} < E$ . Таким

образом, величину  $\frac{s_1 E}{s_2}$  можно считать неким равновесным состоянием, определенным как внутренними законами развития  $s_1$  и  $s_2$ , так и внешним фактором  $E$ .

В более сложной модели «хищник — жертва» протекают такие процессы: размножение жертвы; естественная смертность жертвы; поедание жертвы хищником; естественная смертность хищника; размножение хищников. На интенсивность протекания этих процессов оказывают влияние множество самых различных факторов. Если  $m_1$  — популяция жертв,  $m_2$  — популяция хищников, то скорости изменения численности популяций могут быть записаны в виде системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{m}_1 = s_1 P_1 - s_2 P_2 - s_3 P_3; \\ \dot{m}_2 = d_3 P_3 - d_4 P_4, \end{cases} \quad (5)$$

где  $P_1 = \min\{m_1, E\}$ ;  $P_2 = m_1$ ;  $P_3 = \min\{m_2, \lambda N_1 N_2, F\}$ ;  $P_4 = m_2$ ;  $s_1, s_2, s_3, d_3, d_4, E, F, \lambda$  — коэффициенты. В зависимости от их соотношения поведение системы будет отличаться. При  $m_1 < E$ ,  $\lambda m_1 m_2 < m_2$ ,  $\lambda m_1 m_2 < F$  система (5) имеет вид

$$\begin{cases} \dot{m}_1 = (s_1 - s_2) m_1 - \lambda s_3 m_1 m_2; \\ \dot{m}_2 = \lambda d_3 m_1 m_2 - d_4 m_2. \end{cases} \quad (6)$$

Это система Вольтерра хорошо описывает взаимодействие «хищник—жертва» без учета внешних факторов. Если в экосистему входят параметры, задаваемые человеком, т. е. осуществляется управление системой, то, помимо описания жизнедеятельности и взаимодействия, в правые части уравнений включаются эти параметры.

Решая дифференциальные или разностные уравнения при заданных начальных условиях, можно вычислить точное значение параметров в любой момент времени. Но если переменные выражаются не в виде определенных значений, а в виде вероятностных функций, то они называются *стохастическими*. Стохастические модели основаны на дисперсионном анализе, регрессионных моделях, марковских процессах. Вероятность  $P_{t+\Delta t}(n)$  того, что система находится в состоянии  $n$  в момент времени  $t + \Delta t$ , представляется как сумма произведений вероятности нахождения системы в состоянии  $k$  в момент времени  $t$  на вероятность перехода системы из состояния  $k$  в состояние  $n$ :

$$P_{t+\Delta t} = P_t(0)P(0, n) + P_t(1)P(1, n) + \dots + P_t(m)P(m, n) + \dots \\ \dots = \sum_k P_t(k)P(k, n).$$

Это выражение удобнее записать в матричной форме:

$$P = \begin{pmatrix} P(0, 0) & P(0, 1) & \dots \\ P(1, 0) & P(1, 1) & \dots \\ P(2, 0) & P(2, 1) & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}.$$

Уравнение в матричной форме имеет вид  $P_{t+\Delta t} = P_t P$ . Сумма элементов любой строки матрицы  $P$  равна единице. Такая матрица называется *стохастической*.

Многомерные модели основаны на корреляционных соотношениях и включают следующие этапы моделирования: определение наборов зависимых, независимых и случайных переменных; определение описательных и прогностических моделей; определение корреляции между переменными; выделение кластерных групп.

Простейшие модели, реализуемые в системе, состоят из набора балансовых соотношений. Исследование балансовых соотношений позволяет проследить за тенденциями в изменении степени вмешательства человека в окружающую среду.

Пример 2. Рассмотрим балансовые соотношения относительно кислорода, поступающего в атмосферу из разных источников. Балансовые соотношения можно записать в виде

$$\sum_{i=1}^m k_i - \sum_{i=1}^n k_i = \Delta, \quad (7)$$

где  $k_i$  — количество кислорода, поступающее в атмосферу из разных источников (это приходные статьи баланса);  $k_i$  — количества



Таким образом, если известны значения компонент вектора  $\bar{k}$  в любой момент времени  $t$ , т. е.  $\bar{k}(t)$ , значения внешних факторов  $v_i(t)$  и вид функции  $f_i(\bar{k}, v)$  и  $\Delta(0)$ , то можно установить закон, по которому изменяется величина  $\Delta(t)$ . Если известен вид функции  $f_i(\bar{k}, v)$ , с помощью системы дифференциальных уравнений (8) можно найти решения

$$k_i(t) = g_i(v_1, v_2, \dots, v_n, k_1(0), k_1(0), \dots, k_n(0)).$$

Подставив эти решения в (9), имеем

$$\Delta(t) = \Delta(0) + \int_0^t \left( \sum_{i=1}^m f_i(g(\bar{v}, \bar{k}(0)), \bar{v}) - \sum_{i=m+1}^n f_i(g(\bar{v}, \bar{k}(0), v)) \right) dt = \Delta(0) + \int_0^t G(\bar{v}, \bar{k}(0)) dt, \quad (12)$$

где  $\bar{k}(0)$  — начальное состояние;  $v(t)$  — внешние факторы. Уравнение (12) позволяет прогнозировать величину  $\Delta(t)$ . Так как  $\bar{v}(t)$  характеризует степень вмешательства человека в равновесие биосферы, можно «проиграть» различные варианты этого вмешательства и выяснить, какие последствия оно повлечет за собой.

Можно также изучать поведение каждой из компонент  $k_i$  вектора  $\bar{k}$ , т. е. по графику следить за ее изменением во времени. Каждое начальное состояние  $\bar{k}(0)$  и внешние воздействия  $\bar{v}(t)$  определяют траекторию вектора  $\bar{k}(t)$  в фазовом пространстве. Если  $\Delta(t) \geq \Delta_{\text{крит}}$ , то в фазовом пространстве этому соответствует область

$$\Omega = \left\{ \bar{k} : \sum_{i=1}^m k_i - \sum_{i=m+1}^n k_i \geq \Delta_{\text{крит}} \right\}.$$

которая состоит из векторов  $\bar{k}$ , для которых приходная часть баланса меньше расходной. Таким образом, недостатки балансового подхода можно устранить, изучая систему дифференциальных уравнений и поведение системы в фазовом пространстве.

На практике выбор той или иной математической модели должен быть связан с тем, для какой цели создается (применяется) эта модель. Математические модели являются наиболее сложной частью тренажерной системы, особенно возрастает их роль при реализации ситуационных тренажеров, которые ориентированы на приобретение навыков по принятию решений. Переход от ситуации к ситуации происходит достаточно быстро и причиной изменения ситуации являются действия человека.

5. Разрабатываемый тренажер не только обучает принципам и основам моделирования экологических систем, но и позволяет в рамках одной и той же задачи (модели) создавать различные варианты подзадач и условий и проверять тем самым подготовленность обучаемого всесторонне.

Можно выделить следующие основные этапы деятельности обучаемого с тренажерной системой.

1. Восприятие информации — процесс получения и выделения существенной информации, определяющей стоящую перед обучаемым задачу. На начальном этапе источником информации является преподаватель, а в процессе обучения основным источником выступает ЭВМ. В качестве самой исходной информации используются данные, содержащиеся в описании экологической системы (ситуации): начальные условия, структура связей между входными и выходными параметрами и т. п.

2. Оценка информации — анализ и обобщение на основе заранее заданных или сформированных в процессе обучения критериев оценки. Оценка производится путем сопоставления воспринятой информационной модели ситуации со сложившейся у тренируемого на основе знаний и опыта внутренней образно-концептуальной модели.

3. Принятие решения — условие, формируемое на основе анализа и оценки информации. Качество принятого решения определяет дальнейший процесс.

4. Исполнение принятого решения — изменение ситуации средствами тренажерной системы в соответствии с принятым решением.

5. Контроль и оценка результативности принятого решения.

Все перечисленные этапы потребовали разработки соответствующих алгоритмов, математических моделей, программного обеспечения и объединения этих компонент в единую программно-техническую систему [3].

Третий из перечисленных этапов является ключевым при управлении параметрами экосистем. Он отражает те воздействия, которые необходимы для качественного изменения экологической ситуации в определяемом обучаемым направлении. В результате выполнения некоторых принятых на этом этапе решений может возникнуть экстремальная экологическая ситуация, т. е. ситуация, при которой отрицательное влияние на окружающую среду факторов, определяемых человеком, превышает все допустимые пределы и ведет к катастрофическим последствиям. Моделирование действий, приводящих к экстремальным экологическим ситуациям, позволяет применять описанную тренажерную систему для оценки вероятных последствий проведения некоторых мероприятий (мелиоративных, строительных и т. п.) в рамках реальных экологических систем. В данном качестве тренажерная система используется в качестве имитационной системы и выполняет определенные экспертные функции.

6. Диалоговая тренажерная система для экологического воспитания предусматривает три режима функционирования:

1) режим электронного учебника, служащий для изучения основ моделирования экологических систем;

2) режим непосредственно тренажера для отработки навыков моделирования реальных экологических систем и обучения принятию решений при ситуационном управлении параметрами экосистем;

3) режим контроля и оценки наработанных знаний и решений. Необходимость реализации работы системы в первом режиме возникла из-за того, что тренажер ориентирован на использование при обучении студентов различных специальностей с различным уровнем знания методов математического моделирования. Поэтому обучение может начинаться со знакомства с элементарными понятиями теории множеств, теории графов и линейной алгебры, которые необходимы для определения детерминированной модели. Элементы теории вероятностей и математической статистики необходимы для разработки стохастических моделей. Обучение производится порциями материала с примерами в режиме диалога. Некоторые модельные примеры предлагается решить обучаемому. Сфера применения диалога охватывает уточнение условий задач, выработку плана решения и оценку его оптимальности. Использование диалогового режима обучения в совокупности с контролем ответов обучаемого, анализом ошибок, режимом подсказки, возвратом к ранее изученному и применением графических изображений делает обучение быстрым и эффективным.

В режиме тренажера на базе теоретических сведений и математических методов осуществляется синтез модели соответствующей экологической системы с целью дальнейшего прогнозирования изменения экологической ситуации при управлении тренируемым величинами определенных входных параметров. При этом отрабатываются навыки применения освоенного в предыдущем режиме математического аппарата, а также производится обучение принятию оптимальных решений по управлению параметрами экосистем. Выработка оптимальных решений может производиться как с помощью проигрывания различных вариантов развития ситуации тренируемым, так и с помощью подсказки системы. Метод тренировки состоит в диалоговом общении с ЭВМ, которая на основе синтезированной модели выдает информацию о текущей экологической ситуации и меняет ее в соответствии с требованием тренируемого.

Решения конкретных задач оптимального управления приходными и расходными балансами экосистемы, предлагаемые тренируемым, сопоставляются с наработанными системой оптимальными решениями задач. На основании сравнения тренируемому выставляется оценка и выдаются рекомендации в результате анализа ошибок в его решении. Таким образом, модули, обеспечивающие функционирование системы в третьем режиме, участвуют в процессе работы системы в первых двух режимах.

Описанная версия тренажерной системы реализуется на базе персональной ЭВМ. В ней проектируется интеллектуальный интерфейс общения с пользователем на проблемно-ориентированном языке непроцедурного типа.

- Список литературы:** 1. Зайцев И. Д., Вайнер В. Г., Аннопольский Д. В. Математические методы изучения экологии химических производств//Реф. докл. и сообщ. 14 Менделеев. съезда по общей и прикл. химии. М., 1989. Т. 2. С. 495.  
2. Кухарь В. П., Зайцев И. Д., Сухоруков Г. А. Экотехнология. К., 1989. 286 с.  
3. Шабанов-Кущинаренко Ю. П. Теория интеллекта X., 1984. Т. 1. 144 с.; 1986. Т. 2. 113 с.; 1987. Т. 3. 160 с.

Поступила в редколлегию 11.01.90

УДК 681.3.015

В. В. ЖИХ

## АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИАЛОГОВОГО ОБЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАФОВОЙ МОДЕЛИ СЦЕНАРИЯ

При создании и использовании диалоговых систем часто возникает необходимость внутренней модификации без изменения синтаксиса и семантики общения с конечным пользователем, поэтому актуальной является задача определения эквивалентности диалоговых систем с точки зрения общения с конечным пользователем. Для решения ее используются сценарии диалогового взаимодействия пользователя с системой. Сценарии диалогового взаимодействия привлекают все большее внимание исследователей [1—3 и др.], однако в это понятие нередко вкладывается разное значение. В данной работе сценарии рассматриваются как модель системы с точки зрения пользователя. Или, иначе говоря, под сценарием диалогового общения конечного пользователя с системой понимается совокупность сообщений, которыми могут обмениваться отдельный пользователь и система в процессе общения, а также порядок, в котором эти сообщения могут поступать. При этом рассматриваются диалоговые системы, которые иницируются пользователем, и начальным актом общения выступает сообщение системы о готовности к работе.

Такое понимание сценария позволяет утверждать, что в рамках одной и той же системы может существовать несколько сценариев, доступных различным типам конечных пользователей.

Под маршрутом в сценарии диалогового общения понимается совокупность сообщений, которыми конкретный пользователь и система обмениваются в процессе одного сеанса общения, а также порядок обмена этими сообщениями. Диалоговое общение с пользователем двух систем  $A$  и  $B$  будет эквивалентно, если для каждого маршрута сценария одной системы существует эквивалентный маршрут в другой.

Для исследования диалогового общения широко применяется графовый подход. Графовая модель сценария диалогового общения (ГС) представляет из себя граф  $G(X, F, \Omega)$ , где  $X$  — множество вершин графа;  $F$  — множество ребер графа;  $\Omega$  — множество сообщений. Причем обмен сообщениями происходит в вер-

шинах, а ребра определяют возможные пути перехода к другим сообщениям, поэтому граф является орграфом.

Все вершины орграфа ГС можно разделить на линейные, т. е. имеющие полустепень исхода не более 1, и селективные, у которых полустепень исхода более 1. В каждой вершине происходит принятие системой и выдача пользователем не более 1 сообщения, т. е. вершина представляет из себя «шаг» диалогового общения. Множество  $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n\}$ , где  $\omega_i$  — лнвая информации, передаваемой в процессе общения в вершине  $x_i \in X$ , а  $n$  — количество вершин т. е.  $|X| = n \geq 2$ .

Квант информации  $\omega_i = \omega'_i \cup \omega''_i$ , где  $\omega'_i$  — квант информации, выдаваемый системой в вершине  $x_i$ , а  $\omega''_i$  — квант информации, передаваемой от пользователя в вершине  $x_i$ .

Тогда  $\Omega = \Omega' \cup \Omega''$ , где  $\Omega' = \{\omega'\}$ ,  $\Omega'' = \{\omega''\}$ , причем  $|\Omega'| \leq n$ , и  $|\Omega''| \leq n$ , т. е. может  $\exists x_i \in X : (\exists \omega'_i \in \Omega') \parallel (\exists \omega''_i \in \Omega'')$ .

Для представленной модели имеют место 6 свойств, приведенные в [3]. Однако, если рассматривать диалоговые процессы, в которых селективность порождена анализом сообщений пользователя, а это подавляющее большинство ныне используемых диалоговых систем, то имеет место и следующее свойство: входная вершина графа ГС единственна.

Доказательство. Пусть  $X$  — множество входных вершин графа  $\Gamma(X, F, \Omega)$ ,  $X_1 \subset X$  и  $|X_1| = m > 1$ , т. е.  $X_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ .

Тогда при инициализации системы должен включаться алгоритм селекции, определяющий, с какой входной вершины начинать общение, т. е.

$$\exists A : X_1 \xrightarrow{A} x_i \in X_1, i = \overline{1, m}.$$

Но, поскольку селективность порождена анализом сообщений пользователя,  $A$  работает с некоторым сообщением пользователя  $\omega'_0$ , уже определенным. Но определить  $\omega'_0$  возможно лишь в случае существования вершины  $x_0 \in X$ , в которой принимается сообщение пользователя  $\omega'_0$  и на основании алгоритма  $A$  происходит селекция для перехода на одну из вершин  $x_i \in X_1, i = \overline{1, m}$ .

Но тогда эти вершины не являются входными, а входной будет лишь вершина  $x_0$ , т. е.  $X_1 = \{x_0\}$  и  $|X_1| = 1$ , что и доказывает данное свойство.

Каждому маршруту  $S$  в графе ГС можно поставить в соответствие два упорядоченных конечных множества  $\Omega'_S$  и  $\Omega''_S$ , где

$$\Omega'_S = \{\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_k\}; \quad \Omega''_S = \{\omega''_1, \omega''_2, \dots, \omega''_k\};$$

и множество вершин  $X_S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , причем  $\Omega'_S \subset \Omega'$ ;  $\Omega''_S \subset \Omega''$  и  $\Omega'_S \cup \Omega''_S = \Omega_S \subset \Omega$ ; а  $X_S \subset X, |X_S| \leq |X|, x_1 \in X_1; x_n \in X_3$ , где  $X_3$  — множество конечных вершин графа ГС.

Если  $S_1$  и  $S_2$  — два маршрута, то они будут эквивалентны, если

$$W'_{S_1} = W'_{S_2}; W''_{S_1} = W''_{S_2},$$

где

$$W'_S = \bigcup_{i=1}^{k_S} \omega'_i, \{\omega_1, \dots, \omega_{k_S}\} = \Omega'_S;$$

$$W''_S = \bigcup_{i=1}^{l_S} \omega''_i, \{\omega_1, \dots, \omega_{l_S}\} = \Omega''_S.$$

В работе [3] рассматривается вопрос об эквивалентности диалоговых процессов на основе изоморфизма графов, однако при анализе эквивалентности с точки зрения пользователя изоморфизм графов ГС является достаточным, но не необходимым условием эквивалентности.

**Пример.** Пусть два графа ГС\* и ГС, описывающие некоторые сценарии диалогового общения, совпадают полностью, за исключением двух подграфов: Г\* графа ГС\* и Г графа ГС, причем подграф Г\* состоит из  $k$  линейных вершин, каждая из которых имеет полустепень захода, равную единице, т. е.  $\forall i: = \overline{1, k} \text{ id}(x_i^*) = 1$ ,  $u_i$  ( $k=1$ ) ребра:  $(x_1^*, x_2^*), (x_2^*, x_3^*), \dots, (x_{k-1}^*, x_k^*)$ , а граф Г состоит из линейной вершины  $x$  и  $\text{id}(x) = 1$ .

Вершины  $\tilde{x}$  и  $\tilde{x}^*$  графа ГС смежные с  $x$ , а вершины графа ГС\*  $\tilde{x}^*$  и  $\tilde{x}^*$  смежные:  $\tilde{x}^*$  с  $x_1^*$ ,  $\tilde{x}^*$  с  $x_k^*$ . При этом для вершин  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{x}^*$  и инцидентным им ребрам выполняется условие изоморфизма. Кроме того:  $W = W^*$ , а для вершин  $x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*$ ,  $x$  соответствующие кванты информации:  $\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_k^*$ ,  $\omega'' = \emptyset$ , а  $\omega' = \bigcup_{i=1}^k \omega_i^*$ .

Тогда для всех маршрутов  $S_r$  графа ГС и  $S_r^*$  графа ГС\*, проходящих через подграф Г и Г\* соответственно:  $W''_{S_r} = W''_{S_r^*}$ ;  $W'_{S_r} = W'_{S_r^*}$  и, следовательно, соответствующие графам ГС и ГС\* сценарии эквивалентны, хотя графы и не изоморфны.

Из того, что изоморфизм является лишь достаточным условием эквивалентности сценариев, следует, что одному сценарию может соответствовать более одного графа ГС, а значит, существуют операции, превращающие один граф ГС в другой. Рассмотрим операции объединения вершин и расщепления вершины.

1. Операция объединения вершин  $x_1 + x_2 = x$ .

Операция позволяет объединить две вершины  $x_1$  и  $x_2$  в одну вершину  $x$ , при этом

- а) все ребра, входящие в вершины  $x_1$  и  $x_2$  будут входить в вершину  $x$ , кроме ребер, инцидентных  $x_1$  и  $x_2$  одновременно;
- б) все ребра, исходящие из вершин  $x_1$  и  $x_2$ , будут исходить из вершины  $x$ , кроме ребер, инцидентных  $x_1$  и  $x_2$  одновременно;
- в) квант информации  $\omega$ , соответствующий вершине  $x$ , определяется как  $\omega = \omega_1 \cup \omega_2$ .

## 2. Операция расщепления вершины $\tilde{x} = x_1 + x_2$ .

Операция позволяет расщеплять вершину  $x$  на две вершины  $x_1$  и  $x_2$ , при этом

- а) все ребра, исходящие из  $x$ , будут исходить из  $x_1$  и  $x_2$ ;
- б) все ребра, входящие в  $x$ , будут входить в  $x_1$  либо в  $x_2$ ;
- в) квант информации  $\omega$ , соответствующий вершине  $x$ , будет совпадать с квантами информации  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , соответствующих вершинам  $x_1$  и  $x_2$ .

Имеют место следующие утверждения.

*Лемма 1. Если ребро, исходящее из линейной вершины, входит в вершину, имеющую полустепень захода, равную 1, то к ним применима операция объединения вершин.*

**Доказательство.** Пусть дан граф ГС и  $x_1$  и  $x_2$  — вершины графа ГС, причем  $x_1$  — линейная, а  $x_2$  — имеет полустепень захода, равную 1,  $(x_1, x_2)$  — ребро, инцидентное им. Тогда в силу условия все маршруты, проходящие через  $x_1$ , проходят и через  $x_2$  и не будет других маршрутов, проходящих через  $x_1$  или  $x_2$ .

Действительно, если предположить существование маршрута, проходящего через  $x_1$  и не проходящего через  $x_2$ , то  $x_1$  — селективная вершина. Если предположить, что существует маршрут, проходящий через  $x_2$  и не проходящий через  $x_1$ , то из этого следует  $id(x_2) > 1$ , что противоречит условию.

Пусть  $\omega_1$  и  $\omega_2$  — кванты информации, относящиеся, соответственно, к вершинам  $x_1$  и  $x_2$ . Тогда для всех маршрутов, проходящих через них,  $W'$  содержит  $\omega_1 \cup \omega_2'$ , а  $W''$  содержит  $\omega_1' \cup \omega_2$ .

Но в силу пункта в) определения операции объединения вершин,  $\omega' = \omega_1 \cup \omega_2$ , а  $\omega'' = \omega_1 \cup \omega_2$ , следовательно  $W'$  и  $W''$  остаются неизменными для всех маршрутов, проходящих через  $x$ .

*Лемма 2. К любой вершине, имеющей полустепень захода больше 1, применима операция расщепления.*

**Доказательство.** Пусть  $\tilde{x}$  — вершина в графе ГС и  $id(\tilde{x}) \geq 2$ . Применим к ней операцию расщепления, т. е.  $\tilde{x} = x_1 + x_2$ .

Но, в силу пунктов а) и б) определения операции, все маршруты в ГС, проходящие через  $x$ , будут проходить через  $x_1$  или  $x_2$ .

Так как  $\tilde{\omega}' = \omega'_1 = \omega'_2$ ;  $\tilde{\omega}'' = \omega''_1 = \omega''_2$ , в силу пункта в) определения операции расщепления вершины, то для любого из этих маршрутов  $W'$  и  $W''$  остаются неизменными.

На основании изложенных выше утверждений будет верна следующая теорема.

**Теорема 1.** *Применяя операции объединения и расщепления вершин, можно привести граф ГС к виду, не содержащему линейных вершин, за исключением конечных.*

Такой граф будем называть *селективным* (СГС). Приведем граф СГС к виду, не содержащему эквивалентных вершин, получим приведенный СГС граф (ПСГС).

**Теорема 2.** *Для того чтобы сценарии диалогового общения конечного пользователя с системой были эквивалентны, необходимо и достаточно, чтобы были изоморфны их ПСГС графы.*

Доказательство. Достаточность следует из того, что изоморфизм графов ГС есть достаточное условие эквивалентности, как показано выше.

*Необходимость.* Предположим, что это не так. Пусть ПСГС и ПСГС\* относятся к двум эквивалентным сценариям, но не изоморфны. Тогда возможны два случая:

- 1)  $W \neq W^*$ , но в этом случае сценарии не эквивалентны;
- 2)  $W = W^*$ , но существует по крайней мере одна вершина в ПСГС и (или) ПСГС\*, для которой нарушается изоморфизм.

Но, в силу селективности ПСГС и ПСГС\*, должны быть несопадающие маршруты, порождаемые этими вершинами и, в силу приведенности, для них нет эквивалентных в том же графе. Следовательно, сценарии не эквивалентны.

Таким образом, для установления эквивалентности диалоговых процессов общения конечного пользователя с системой применим следующий алгоритм:

1. Определяем совокупность сценариев для каждой системы.
2. Строим ПСГС для каждого сценария.
3. Проверяем наличие изоморфного ПСГС для каждого ПСГС одной из систем.
4. Если для всех ПСГС каждой системы найден изоморфный, то системы эквивалентны. Нет — системы не эквивалентны.

Приведенный алгоритм позволяет также устанавливать, где имеет место нарушение эквивалентности.

**Список литературы:** 1 Дракин В. И., Попов Э. В., Преображенский А. Б. Общение конечных пользователей с системой обработки данных. М., 1988. 287 с.  
2. Диалоговые системы в АСУ/Под. ред. Д. А. Поспелова. М., 1983. 206 с.  
3. Араксян В. В. Автоматизация построения структур диалога пользователя и ЭВМ на основе графотопологических представлений//Автоматизация проектирования АСУ. М., 1982. С. 52—57.

## ДВУЗНАЧНО-МНОГОЗНАЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ВНЕШНЕГО ОБМЕНА СИСТЕМ ИИ. Сообщение 2

В предыдущем сообщении [1] раскрыты основные концепции построения систем искусственного интеллекта (ИИ) с применением многозначного кодирования и структур, ориентацией их практической реализации на твердотельной радиоэлектронной элементной базе. Поэтому в данном сообщении классифицируются ряд

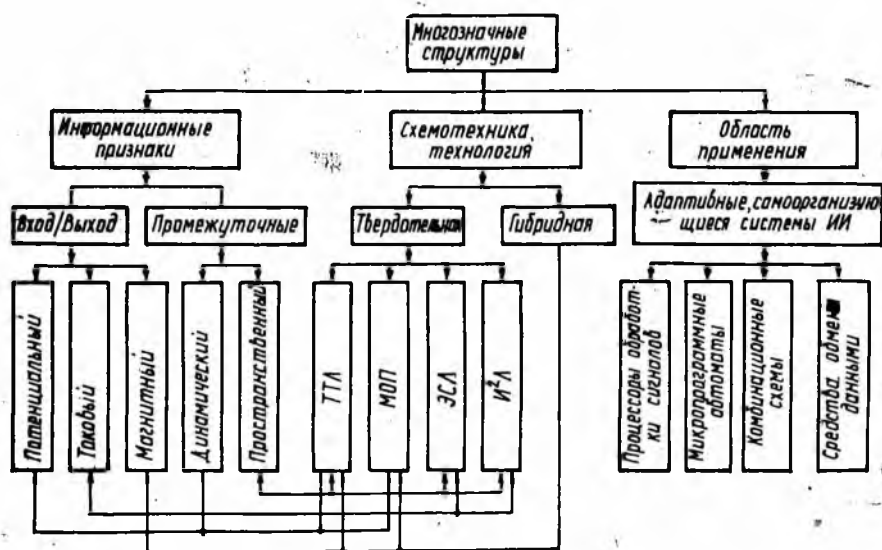


Рис. 1. Классификация радиоэлектронных средств с многозначным кодированием

подходов к схемотехнике, технологии, распараллеливанию алгоритмов функционирования многозначных структур, в частности, устройств внешнего обмена систем ИИ.

Радиоэлектронные средства с многозначным кодированием можно классифицировать (рис. 1) [2—4, 5—14, 15] по следующим признакам: информационному признаку сообщения на входе и выходе; по промежуточному признаку преобразования информации; области применения; по виду схемотехники и технологии реализации систем. Микроэлектронные многозначные структуры по информационным признакам подразделяются на токовые и потенциальные. К токовым относятся структуры, создаваемые на основе И<sup>2</sup>Л- и ЭСЛ-схемотехники, к потенциальным — создаваемые с применением МОП, ТТЛ и гибридной технологии и схемотехни-

ки. Применение многозначной логической системы прогнозируется в комплексе с двузначной в виде операционных средств обмена данными между отдельными корпусами БИС, блоками и системами; комбинационных схем и функциональных блоков вычислительной техники; микропрограммных автоматов; процессоров обработки сигналов; адаптивных и самоорганизующихся систем. Разнообразие перечисленных признаков классификации радиоэлектронных многозначных систем объясняется многообразием требований, противоречий и проблем, возникающих при создании, разработке и применении многозначных систем ИИ. Отметим, что предлагаемая классификация (см. рис. 1) учитывает прикладные аспекты теории многозначных систем. Все, что касается теории многозначных переключательных схем, микропрограммных автоматов, надежности и т. п., в данную классификацию не вошло.

Таблица 1

Таблица 2

Таблица истинности входного дешифратора

Таблица истинности работы ЦАП

$x_1 : x_2$	24:23:22		
	$y_1$	$y_2$	$y_3$
0 0	0	0	0
0 1	1	0	0
1 0	0	1	0
1 1	0	0	1

24	23	22	II
$y_1$	$y_2$	$y_3$	
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	2
0	0	1	3

Таблица 3

Таблица 4

Таблица истинности работы АЦП

Таблица истинности выходного сумматора

II	25	26	27
	$L_1$	$L_2$	$L_3$
$z$			
0	0	0	0
1	1	0	0
2	1	1	0
3	1	1	1

25	26	27	$x_1 \ x_2$	
$L_1$	$L_2$	$L_3$	25	26
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

Перейдем к рассмотрению структурных и схемных решений двузначно-многозначных устройств внешнего обмена, создание которых, на основе требования необходимой их сложности, носит принципиальный характер при построении многозначных систем

ИИ: с одной стороны, обеспечивает возможность симбиоза дву- и многозначного кодирования, а с другой — гарантирует работоспособность в рамках достижимой на сегодняшний день надежности интегральных схем, а также применение серийно изготавливаемых ИС памяти. Между тем задача создания быстродействующей

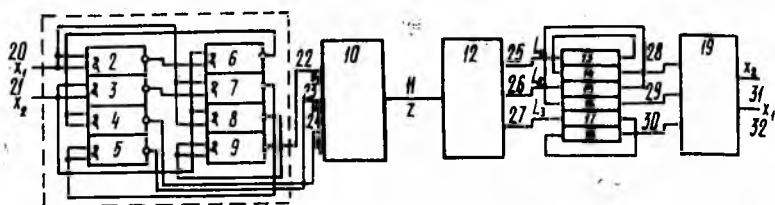


Рис. 2. Функциональная схема двузначно-многозначного устройства внешнего обмена

щей и технологичной многозначной памяти не решена окончательно, а параллельное промежуточное пространство многозначных характеристических функций в структуре может быть закодировано и запомнено с помощью традиционных ИС ЗУ.

На рис. 2 приведена функциональная схема двузначно-многозначного устройства внешнего обмена [16]. Его таблицы истинности (табл. 1—4) для случая работы с четырехзначным кодом приведены ниже. На рис. 3 показан преобразователь двузначного унитарного кода в многозначный (ЦАП), а на рис. 4 — принципиальная схема преобразователя многозначного кода в унитарный двузначный (АЦП). Устройство внешнего обмена использует в качестве информационного признака сообщения потенциал.

Устройство внешнего обмена (см. рис. 2) содержит дешифратор 1, выполненный на элементах 2—5 НЕ, элементах 6—8 И—НЕ, элементе 9 НЕ; цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) 10; канал связи 11, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 12; триггеры Шмитта 13—18; сумматор 19, входы 20, 21 дешифратора 1, входы 22—24 ЦАП 10, выходы 25—27 АЦП 12, входы 28—30 и выходы 31—32 сумматора 19. ЦАП 10 (см. рис. 3) содержит блоки 33—35 управления, ключи 36—38, делитель 39 опорного напряжения, резистор 40, транзисторы 41—48, резисторы 49—50, емкости 55, 56, резисторы 57 и транзисторы 58—64. АЦП 12 (см. рис. 4) содержит компараторы 65—67 на дифференциальных каскадах, формирователь 68 опорных напряжений, резисторы 69, 70, транзисторы 71—80, резисторы 81 и транзисторы 82—86.

Устройство функционирует следующим образом. Пусть на входы 20, 21 дешифратора 1 поданы значения двузначных сигналов  $x_1=1$ ,  $x_2=1$ , то данный набор преобразуется дешифратором 1 в пространство характеристических функций многозначной логики, кодированных двузначными сигналами вида  $\langle 001 \rangle$  (см. табл. 1). При этом возбуждается вход 24 преобразователя 10, куда поступает сигнал +Е, транзисторы 47, 48 блока управления 35 закрываются, в результате чего закрывается транзистор 43, открываются

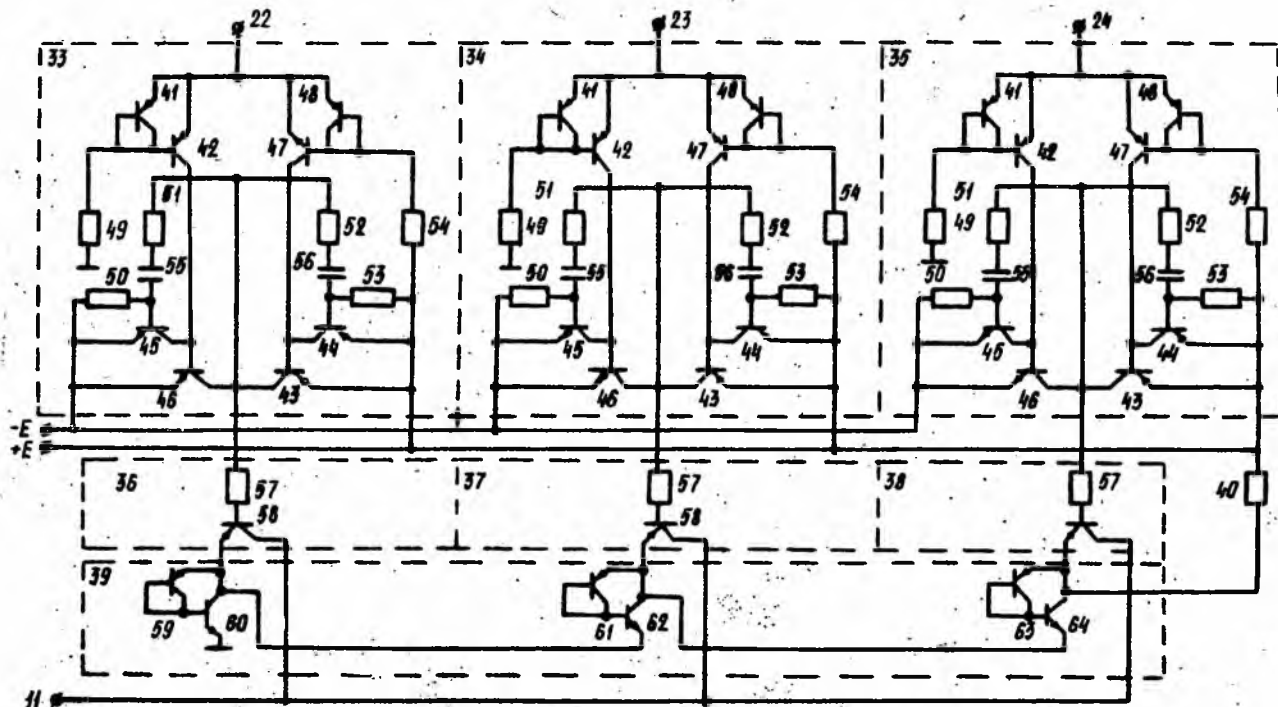


Рис. 3. Преобразователь двузначного унитарного кода в многозначный (ЦАП)

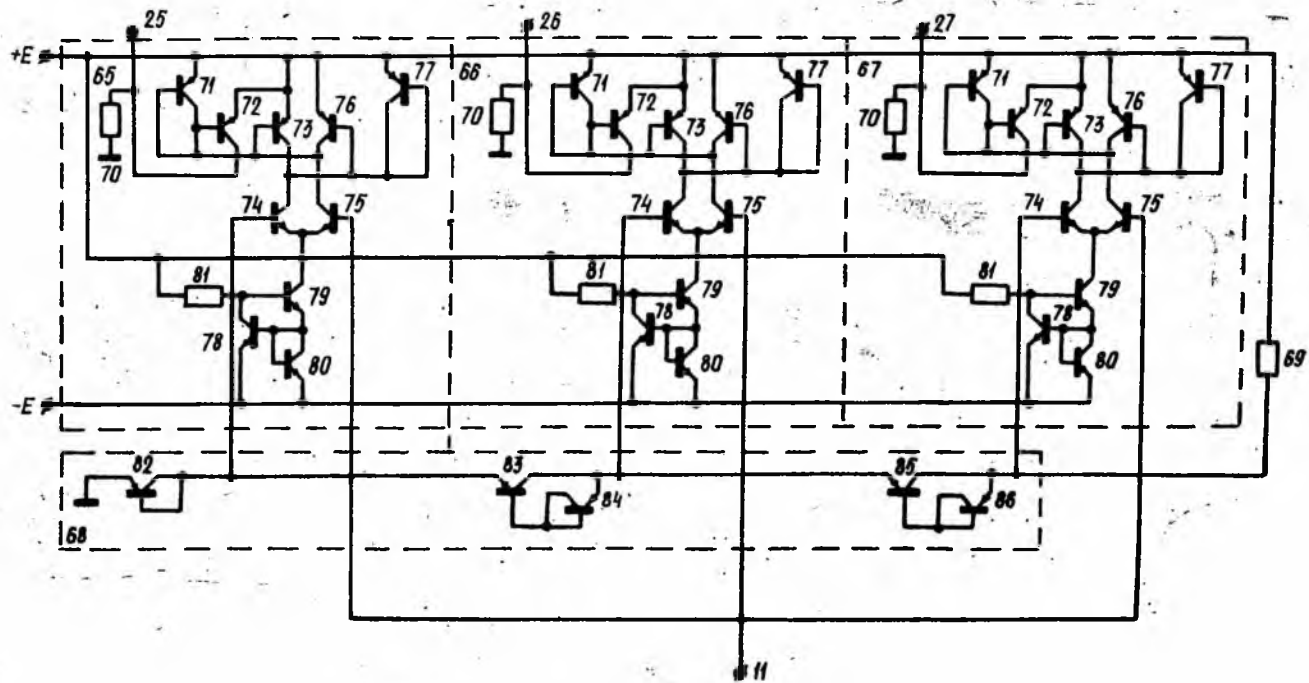


Рис. 4. Принципиальная схема преобразователя многозначного кода в унитарный пространственный код (АЦП)

ся транзисторы 41, 42 и в базу транзистора 46 протекает ток. Через транзистор 46 на выход поступает напряжение —  $E$ . Этот потенциал, через резистор 52 и емкость 56, открывает транзистор 44, и на базу транзистора 43 поступает запирающее напряжение  $+E$ , которое ускоряет процесс закрывания и отключения источника  $+E$ , от выхода блока 35 управления. На выход 11 преобразователя 10, через транзистор 58 ключа 38, поступает напряжение 3,6 В от пары транзисторов 63, 64 делителя 39, т. е. формируется уровень логической «3» многозначного кода (см. табл. 2), который передается на преобразователь 12.

Существо работы формирователя уровней многозначного кода состоит в том, что транзистор 59 работает при малом токе эмиттера, поэтому  $u_{бэ1} = u_{бэ2}$  для транзисторов 59, 60. Тогда выходное напряжение на первой паре транзисторов 59, 60 равно  $2u_{бэ}$ , а так как для кремниевых транзисторов  $u_{бэ} = 0,6$  В, то  $2u_{бэ} = 1,2$  В. Следовательно, эмиттеры транзисторов 58 ключей 36—38 подключены к напряжениям  $u_{оп1} = 1,2$  В,  $u_{оп2} = 2,4$  В,  $u_{оп3} = 3,6$  В соответственно. Ввиду того что данные напряжения сформированы за счет параметрической стабилизации транзисторной цепочкой 59—64, смена питающего напряжения мало влияет на значение формируемых уровней многозначного кода. Это схемное решение позволяет без подгонки и схемотехнических усложнений достичь требуемой точности формирования уровней многозначного кода и взаимозаменяемости устройств.

Теперь, когда входной сигнал  $u_i$  равен или больше  $i$ -го опорного сигнала, переходят в открытое состояние правые плечи с первого по  $i$ -й дифференциальный каскад 65—67 преобразователя 12 и на выходах 25—27 появляется сигнал  $+E$ . В нашем примере входной сигнал равен  $u_3 = 3,6$  В, поэтому в преобразователе 12 включаются все выходы 25—27 и формируется пространственный единичный код  $\langle 111 \rangle$  (см. табл. 3). Переход от пространственного кода к двузначному систематическому осуществляется сумматором 19 серийного производства, причем  $x_1 = 1$  (выход 32),  $x_2 = 1$  (выход 31). Это соответствует входному сигналу устройства (см. табл. 1).

Таким образом, устройство осуществляет преобразование двузначного сигнала в четырехзначный, сжатие двух линий передачи данных в одну, прием и обратное преобразование в двузначный сигнал исходного вида. Кроме этого, структура устройства обладает параллелизмом, реализована на серийных твердотельных компонентах и не предусматривает проведения дополнительных исследований по разработке многозначной элементной базы, хотя многозначное кодирование здесь реализуется и обеспечивает двукратное снижение числа связей.

Если абстрагироваться от конкретики схемных и технологических решений и обратиться к процессам переработки, передачи и приема сообщений, то в такой структуре видна аналогия с функционированием высокоорганизованных систем. Так же, как и в живых системах, используется симбиоз дву- и многозначного кодиро-

вания с промежуточным пространственным преобразованием признаков, в зависимости от вида рекурсии, алгоритмической целесообразности и удобства (симметрии), надежности и простоты реализуемых преобразований. Такой подход более гибок: он обеспечивает быструю перенастройку по значности в пределах заданного множества возможных уровней кода. Видоизменив функции входного и выходного дешифраторов, на основе тех же структур-

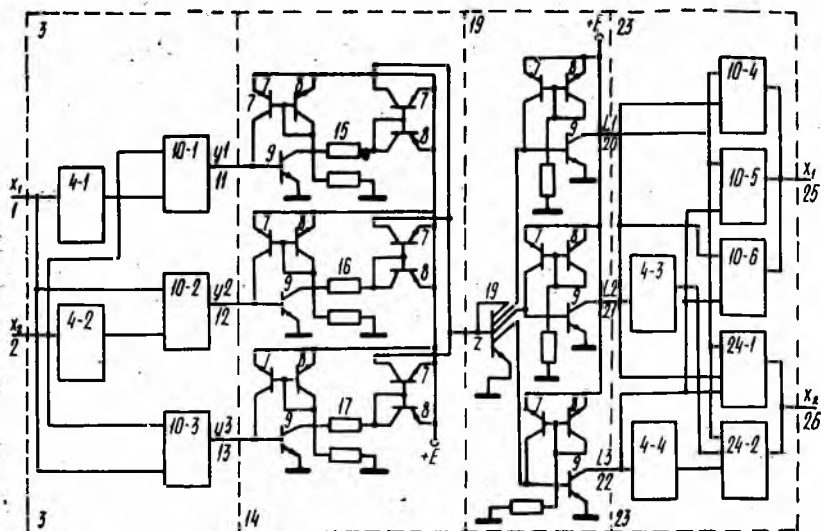


Рис. 5. Устройство внешнего обмена на основе И<sup>2</sup>Л-технологии

ных единиц устройства внешнего обмена, легко реализовать однородный универсальный многозначный функциональный преобразователь пространственного типа, что будет показано в следующем сообщении.

Для дальнейшего раскрытия предложенной классификации радиоэлектронных средств многозначных систем ИИ рассмотрим вариант структурного и схмотехнического решения устройства внешнего обмена с токовым информационным признаком. Устройство внешнего обмена на основе И<sup>2</sup>Л-технологии (рис. 5) содержит входы 1, 2 и состоит из входного дешифратора 3, преобразующего двузначный систематический код в позиционный единичный код (в пространство многозначных характеристических функций); входной дешифратор 3 содержит первый и второй И<sup>2</sup>Л инверторы 4-1, 4-2, сформированные из трех последовательно соединенных логических И<sup>2</sup>Л-ячеек 5, состоящих из инжектора тока 6 на двух  $p-n-p$  транзисторах 7, 8 и одноколлекторного транзистора 9, а также первый, второй и третий двухходовые конъюнкты 10-1 ..., 10-3, сформированные на четырех И<sup>2</sup>Л-ячейках 5. Выходы конъюнктов 10-1 ... 10-3 образуют три выхода 11—13 ( $y_1 ... y_3$ ) дешифратора 3, которые подключаются к соответствующим входам

входного суммирующего устройства 14 (см. рис. 5), сформированного на И<sup>2</sup>Л-ячейках 5 с весами инжектируемых токов, равными 3,0. К входам ячеек 5 подключены первый, второй и третий управляемые инжекторы на транзисторах 7, 8 с весами инжектируемых токов, равными 1,0; 2,0; 3,0 четырехзначного кода, соответственно устанавливаемыми величиной резисторов 15—17. Выходы (коллекторы транзисторов 7) первого, второго и третьего управляемых инжекторов соединены вместе и образуют выход входного суммирующего устройства 14 (преобразователя двузначного кода в четырехзначный). Выход подсоединен к линии передачи 18 (z) соединенной с входом схемы 19 пороговых детекторов преобразователя четырехзначного кода в двузначный, сформированной на четырехколлекторном транзисторе 19 и первой, второй и третьей И<sup>2</sup>Л-ячейках на транзисторах 7 ... 9 с весами инжектируемых токов, равными 0,5; 1,5; 2,5 соответственно. Выходы 20 ... 22 пороговых детекторов подключены к соответствующим входам выходного дешифратора 23, состоящего из первого 4-3 и второго 4-4 инверторов; первого, второго и третьего двухвходовых конъюнктов 10-4 ... 10-6 и первого, второго трехвходовых конъюнктов 24-1, 24-2, выходы конъюнктов 10-4 — 10-6 и 24-1, 24-2 соединены вместе и образуют первый 25 и второй 26 выходы устройства.

Положим, что на входы 1, 2 устройства поданы сигналы  $X_1=0$   $X_2=1$ . В соответствии с табл. 1 входной дешифратор 3 на выходах 11...13 формирует следующие логические функции  $y_1=x_1x_2$ ,  $y_2=x_1x_2$ ,  $y_3=x_1x_2$ . В таком случае набор <01> преобразуется дешифратором 3 к виду  $y_1=1$ ,  $y_2=y_3=0$ . При этом открывается транзистор 9 первой И<sup>2</sup>Л-ячейки 5 на транзисторах 7 ... 9 во входном суммирующем устройстве 14. База транзистора 7 первого инжектора подключается через коллекторный переход транзистора 9 к шине земли. Инжектор с весом 1,0 открывается и с коллектора транзистора 7 в линию передачи 18 и базу многоколлекторного транзистора 19 поступает уровень логической единицы многозначного кода. Так как на выходах  $y_1$ ,  $y_3$  в этом случае присутствует нулевой входной сигнал, то оба транзистора 9 во второй и третьей И<sup>2</sup>Л-ячейках 5 входного сумматора закрыты и соответственно закрыты выходные управляемые инжекторы тока с весами инжектируемых токов, равными 2,0 и 3,0 единицам четырехзначного кода. Значит, на выход 18 поступает только единица тока многоуровневого сигнала.

Транзистор 19 осуществляет «зеркальное» отражение втекающего в его базу тока, т. е. токи, втекающие в его коллекторы, равны по величине току базы и обратны по направлению [5]. Так как входной ток равен по весу 1, в коллекторах тоже будут протекать токи, равные логической единице многозначного кода. Это приведет к тому, что первый коллектор отберет полностью весь инжектируемый ток от инжектора первой И<sup>2</sup>Л-ячейки порогового детектора, равный по весу 0,5, от второго — тоже единицу, но останется еще 0,5 весового значения тока и транзистор 9 второго детектора останется в исходном состоянии, аналогично — третий пороговый детектор.

Таким образом, на выходах 20...22 будут сформированы (см. также табл. 3) следующие логические сигналы:  $L_1=1$ ,  $L_2=L_3=0$  соответственно. В соответствии с табл. 4 выходной дешифратор 23 на выходах 25, 26 формирует логические функции:  $x_1=L_1L_2\vee\vee L_2L_3\vee L_1L_3$ ,  $x_2=L_1L_2L_3\vee L_1L_2L_3$ . Тогда набор  $\langle 100 \rangle$  даст на выходах 25, 26 устройства значения  $x_1=0$ ,  $x_2=1$ .

Если аналогичным образом проследить работу устройства для других значений  $x_1$ ,  $x_2$  входных сигналов, легко убедиться, что оно реализует все преобразования в соответствии с табл. 1—4 и является устройством передачи и приема информации с четырехзначным кодированием.

Использование трех отдельно работающих инжекторов тока с весами, равными  $p_i=1,0; 2,0; 3,0$ , позволяет снизить требования к жесткости допуска на отклонение шага квантования многоуровневого сигнала по сравнению с избыточными аналогичными устройствами [5]. В них используются только два инжектора тока, формирующие выходные многозначные сигналы следующим образом:  $p_i=1$  — к линии  $z$  подключен первый инжектор;  $p_i=2$  — подключен второй инжектор;  $p_i=3$  — к линии подключены оба инжектора. В этом случае при формировании сигнала  $p_i=3$  возникает перераспределение токов между коллекторами транзисторов инжекторов тока, инжекция тока сильно зависит от изменения сопротивления нагрузки (длины линии передачи, температуры, технологических отклонений параметров многоколлекторного транзистора 19). Три инжектора позволяют отдельно настраивать (путем подгонки резисторов 15—17) каждый из них на требуемое значение  $p_i$  с заданным шагом квантования и допуском на отклонение выходного сигнала. При этом не требуется подгонка параметров инжекторов в ИС по наименьшему  $p_i=0,5$ , как при двух инжекторах и формировании уровня  $p_i=3$  путем аналогового суммирования токов. Методика выбора величин порогов и допустимых отклонений изложена в работе [16].

Таким образом, устройства внешнего обмена пространственного типа с многозначным кодированием в системах ИИ обеспечивают следующие свойства: передачу сигналов с максимальным быстродействием и пропускной способностью; наращивание системы по мощности множества реализуемых преобразований; сохранение однородности структур при их наращивании; реализуют принцип симбиоза двузначного и многозначного представления, преобразования и хранения данных; снижение числа вводов и выводов систем ИИ, работающих в режиме реального времени.

**Список литературы:** 1. Коноплянко З. Д. Принципы построения многозначных систем искусственного интеллекта. Сообщ. 1./Пробл. бионики. 1990. Вып. 45. С. 22—27. 2. Надежность многозначных структур/В. В. Григорьев, А. Б. Кметь, З. Д. Коноплянко и др. К., 1981. 157 с. 3. Коноплянко З. Д. Сравнительный анализ надежности универсальных двузначных и многозначных структур. Рук. деп. в ВИНТИ № 8035-В от 21.11.85 г. 21 с. 4. Кузнецов В. Л., Раков М. А. Самоорганизация в технических системах/К., 1987. 200 с. 5. Пономарев М. Ф., Коноплев Б. Г., Фомичев А. В. Обзоры по электронной технике: Многоуровневые логические элементы и устройства БИС. Микроэлектроника. М., 1982. Вып.

2(879), 54 с. 6. Фирма СИГНЕТИКС начинает выпуск семейства И<sup>2</sup>Л-схем// Электроника. 1976. № 1. С. 80—81. 7. Фирма СИГНЕТИКС планирует выпуск четырехуровневых логических ИС//Электроника. 1976. № 22. С. 81—83. 8. Новые направления исследований в области многозначных логических схем//Электроника. 1981. № 4. С. 105—108. 9. Joint special issue of very large-scale integration//IEEE Transaction on Electron Devices. 1979. N 4. P. 156. 10. Коноплянко З. Д. Оценка аппаратурной надежности многозначных логических элементов пространственного типа//Материалы VIII конф. молодых ученых ФМИ АН УССР. Секция отбора и передачи информации. Львов. 1977. Рук. деп. в ВИНТИ № 994—79 от 22.09.79. 11. А. с. 841119 (СССР). Универсальный многозначный логический элемент с промежуточным пространственным преобразованием информации инжекционного типа//Коноплянко З. Д.//БИ. 1981. № 23. 12. А. С. 756386 (СССР). М. кл. НОЗК 1980. 3/00, 13. Mac Cluskey E. J. Logic design of multivalued I<sup>2</sup>L logic circuits//IEEE Transaction on Electron Devices. 1979. N 5. P. 546—559. 14. Bergmann G. A. One chip I<sup>2</sup>L controller for appliances//IEEE of solid-state circuits. 1979. N 3. P. 569—573. 15. Камэяма М., Хигучи Т. Многозначная логическая система и ее практическое применение//Сури Кагаку. 1984. 200. С. 55—60. 16. Коноплянко З. Д. Анализ параметрической надежности инжекционных элементов многозначных структур//Электрон. моделирование. 1983. № 3. С. 56—62.

Поступила в редколлегию 20.02.90

УДК 519.71:591.51:62—50

Н. П. ДИДИЧЕНКО, канд. техн. наук

## ПРОЦЕССЫ АДАПТАЦИИ И СЛУЧАЙНЫЙ ПОИСК

В процессе эволюции биологические системы приобрели способность приспосабливаться, адаптироваться к изменениям той среды, в которой они обитают, то есть приобрели способность к обучению. Эта способность реализована эволюцией в виде различных приспособительных механизмов нервной системы. Так, рефлекторный механизм приспосабливает организм к постоянным и медленно меняющимся раздражителям; механизм адаптивного экранирования позволяет отделять существенную информацию (с точки зрения биологической системы) от несущественной, регулировать взаимное влияние сигнальных комплексов, а также производить отсев избыточной информации; механизм реакции экстропляции дает возможность биологической системе адекватно реагировать на быстро меняющийся раздражитель и обеспечивает устойчивость системы при временной потере потока важной информации; механизм реакции остаточного стремления обеспечивает устойчивость системы при осуществлении ранее выбранной реакции.

Результатом адаптации является синтез системой таких поведенческих реакций, которые наилучшим образом с точки зрения данной системы соответствуют условиям внешней среды. Синтез таких поведенческих реакций осуществляется путем установления определенных связей в нервной системе, т. е. путем изменения состояний нервной системы. Если назвать такие реакции *оптимальными*, а соответствующие им состояния нервной системы организ-

ма оптимальными состояниями, то процесс адаптации можно рассматривать как процесс решения некоторой задачи оптимизации. Естественно предположить, что в качестве оптимизируемой функции биологическая система выбирает частоту удачных с точки зрения системы реакций на раздражитель. Если обозначить ее через  $f(x)$ , то задачу оптимизации можно записать в виде

$$f(x) \rightarrow \max_{x \in G} \quad (1)$$

где множество  $G$  представляет собой множество возможных состояний системы.

Так как поиск оптимального состояния системы осуществляется посредством различных механизмов адаптации, эти механизмы в своей совокупности и представляют собой алгоритм решения задачи (1), т. е. алгоритм оптимизации.

Выясним структуру задачи (1) и алгоритма ее решения в случае функционирования биологической системы в некоторой случайной среде. Будем предполагать, что процесс функционирования системы описывается следующим образом. В дискретные моменты времени на вход биологической системы среда подает сигнальный комплекс  $S_j$  с вероятностью  $P_j$ . Биологическая система отвечает на  $S_j$  одной из своих возможных реакций  $R_i$ , которая оценивается как удачная с вероятностью  $\pi_{ij}$  и как неудачная с вероятностью  $1 - \pi_{ij}$ . Множества сигнальных комплексов и реакций предполагаются конечными.

При описании процесса функционирования биологической системы стохастической моделью функции  $f(x)$  будет полностью характеризоваться вероятностью того, что реакция будет удачной. Для определения этой вероятности рассмотрим случайную величину  $\xi$ , зависящую от состояния системы, которая принимает значение единица, если реакция с точки зрения системы считается удачной, и нуль в противном случае. Тогда задача максимизации частоты удачных реакций сводится к задаче стохастического программирования.

Вычислим математическое ожидание случайной величины  $\xi$ . Для этой цели рассмотрим случайные величины  $\zeta_{ij}$  и  $\eta_j$ .

Случайная величина  $\zeta_{ij}$  принимает значение единица, если при предъявлении системе сигнального комплекса  $S_j$  произошла реакция  $R_i$  и была положительная обратная связь, и нуль, если при предъявлении  $S_j$  на реакцию  $R_i$  была отрицательная обратная связь. Вероятность того, что  $\zeta_{ij}=1$ , равна  $\pi_{ij}$ , а вероятность того, что  $\zeta_{ij}=0$ , равна  $1 - \pi_{ij}$ , т. е.

$$\mathcal{P}(\zeta_{ij} = 1) = \pi_{ij}, \quad \mathcal{P}(\zeta_{ij} = 0) = 1 - \pi_{ij}.$$

Случайная величина  $\eta_j$  принимает значение  $i$ , если при предъявлении системе сигнального комплекса  $S_j$  произошла реакция  $R_i$ . Таким образом,  $\eta_j$  принимает значения  $i=1, m$  с вероятностями  $P(R_i/S_j)$ :

$$\mathcal{P}(\eta_j = i) = \mathcal{P}(R_i/S_j). \quad (2)$$

Ясно, что случайная величина  $\eta_j$  является функцией от состояния системы

$$\eta_j = \eta_j(x). \quad (3)$$

Учитывая (2) и (3), можно написать

$$\mathcal{P}(R_{ij}/S_j) = \mathcal{P}_{ij}(x).$$

Случайная величина  $\xi$  будет принимать значение единицы когда  $\zeta_{j\eta_j} = 1$ , и нуль, когда  $\zeta_{j\eta_j} = 0$ , т. е.

$$\xi = \begin{cases} 1, & \zeta_{j\eta_j} = 1; \\ 0, & \zeta_{j\eta_j} = 0. \end{cases}$$

Математическое ожидание случайной величины  $\xi$  полностью определяется семейством распределений  $\{\mathcal{P}_{ij}(x)\}_{i=1, n}^{m-1, n}$ , матрицей  $\Pi$  и распределением  $P = (P_1, \dots, P_n)$ , а именно

$$M\xi = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_j \pi_{ij} \mathcal{P}_{ij}(x).$$

Отсюда следует, что оптимизируемая функция  $f(x)$  имеет вид

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_j \pi_{ij} \mathcal{P}_{ij}(x). \quad (4)$$

Зависимость  $P_{ij}$  от состояния  $x$  и алгоритм оптимизации  $f(x)$  определяются математической моделью процесса обучения биологической системы. Попытаемся выяснить характер этой зависимости и вид алгоритма оптимизации на примере механизма адаптивного экранирования входной информации и рефлекторного механизма, так как эти механизмы являются наиболее изученными с точки зрения их математического описания (см., например, [1—4]).

Рассмотрим процесс выработки условного рефлекса на примере обучения в  $T$ -образном лабиринте и описания этого процесса многомерной структурной моделью [4]. Множество допустимых реакций представлено реакциями  $R_1$ —поворот направо и  $R_2$ —поворот налево. Рассмотрим случай, когда множество  $\{S\}$  представлено двумя сигнальными комплексами  $S_1$  и  $S_2$ , которые предъявляются системе с вероятностями  $P$  и  $q$ , а матрицы  $\Pi$  и  $\Lambda^\pm$  имеют вид

$$\Pi = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \Lambda^+ = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \Lambda^- = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Оптимизируемая функция в этом случае определяется выражением

$$f(x) = P\mathcal{P}(R_1/S_1) + q\mathcal{P}(R_2/S_2).$$

Согласно [4], вероятности  $\mathcal{P}(R_1/S_1)$  и  $\mathcal{P}(R_2/S_2)$  вычисляются по формулам

$$\mathcal{P}(R_1/S_1) = \frac{1}{e_1 + e_3} \left( \frac{e_1 c_{11}}{b_1} + \frac{e_3 c_{31}}{b_3} \right);$$

$$\hat{P}(R_2/S_2) = \frac{1}{e_2 + e_3} \left( \frac{e_2 c_{22}}{b_2} + \frac{e_3 c_{32}}{b_3} \right),$$

где  $b_1, b_2, b_3$  — постоянные, а  $e_1, e_2, e_3, c_{11}, c_{22}, c_{31}, c_{32}$  — оптимизируемые параметры, причем  $0 \leq e_i \leq b_i, i = 1, 2, 3, 0 \leq c_{11} \leq b_1, 0 \leq c_{22} \leq b_2, c_{11} \geq 0, c_{32} \geq 0, c_{31} + c_{32} = b_3$ . Если переобозначить через  $x_1 = e_1, x_2 = e_2, x_3 = e_3, x_4 = c_{11}, x_5 = c_{21}, x_6 = c_{31}$  и учесть, что  $c_{32} = b_3 - x_6$ , то задача оптимизации будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{P}{x_1 + x_3} \left( \frac{x_1 x_4}{b_1} + \frac{x_3 x_6}{b_3} \right) + \frac{q}{x_2 + x_3} \left( \frac{x_2 (b_2 - x_6)}{b_2} + \frac{x_3 (b_3 - x_6)}{b_3} \right) \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$0 \leq x_1, x_4 \leq b_1, \quad 0 \leq x_2, x_5 \leq b_2, \quad 0 \leq x_3, x_6 \leq b_3. \quad (6)$$

Напомним, что  $f(x)$ , определяемая выражением (5), представляет собой  $M\xi$  и в процессе нахождения ее максимума мы можем получать не само значение  $f(x)$ , а лишь реализацию  $\xi$ , т. е. (5) — (6) представляют собой задачу стохастического программирования. Алгоритм ее решения представлен в модели композицией двух алгоритмов: алгоритмом механизма адаптивного экранирования, при помощи которого осуществляется поиск по переменным  $x_1, x_2, x_3$ , и алгоритмом рефлекторного механизма, осуществляющим поиск по переменным  $x_4, x_5, x_6$ . Сам процесс поиска осуществляется следующим образом.

Внешняя среда, генерируя сигнальные комплексы, подает их на вход  $0c$ . При этом  $S_1$  порождает вектор  $(b_1, 0, b_3)$ , а  $S_2$  — вектор  $(0, b_2, b_3)$ . В результате этого первый алгоритм делает шаг по переменным  $x_1, x_3$  при предъявлении сигнального комплекса  $S_1$  и по  $x_2, x_3$  при предъявлении  $S_2$ . Шаг по этим переменным выбирается случайным образом, а именно: с вероятностью  $P_i$  ( $P_i$  — вероятности экрана Э) шаг делается по  $i$ -й координате вправо на величину  $\Delta x_i = \delta(B_i - x_i)$  и с вероятностью  $q_i = 1 - P_i$  влево на величину  $\Delta x_i = -\delta x_i$ . После выбора шага первым алгоритмом происходит выбор реакции и ее оценка средой, т. е. вычисляется реализация  $\xi$  и на этой основе — оценка знака приращения  $f(x)$ , которая используется для обучения первого алгоритма (преобразование вероятностей экрана Э) и выбора шага вторым алгоритмом по переменным  $x_4, x_6$  при предъявлении сигнального комплекса  $S_1$  и по  $x_5, x_6$  при предъявлении  $S_2$ . Выбор шага производится также случайным образом, а именно: переменные  $x_i$  остаются без изменений с вероятностью  $(1 - \alpha)$  и получают приращение  $\Delta_i$  с вероятностью  $\alpha$ , где  $\Delta_i = (1 - \gamma)(b_i - x_i)$  при предъявлении  $S_1$  и  $\Delta_i = -(1 - \gamma)(b_i - x_i)$  при предъявлении  $S_2$ .

Правило выбора величины шага обоими алгоритмами является таким, что автоматически не выводит поисковую точку за границу

области, кроме того, вдали от точки экстремума шаг растёт, а вблизи — уменьшается.

Как следует из анализа математическая модель механизма адаптивного экранирования входной информации представляет собой алгоритм случайного поиска коллективом автоматов с переменной структурой, а математическая модель рефлекторного механизма представляет собой алгоритм случайного поиска коллективом автоматов с постоянной структурой, а следовательно, процесс обучения представляет собой не что иное, как процесс решения задачи стохастического программирования адаптивными алгоритмами случайного поиска.

**Список литературы:** 1. Буш Р., Мостеллер Ф. Стохастические модели обучаемости. М., 1962. 483 с. 2. Аткинсон Р., Бауэр Г., Кроттэрс Э. Введение в математическую теорию обучения. М., 1969. 486 с. 3. Короб В. Ф., Дидиченко Н. П. Частичное экранирование входной информации и его математическая трактовка//Пробл. бионики. 1980. Вып. 25. С. 93—98. 4. Дидиченко Н. П., Кривцов В. И. Об одном многомерном аналоге структурной модели поведения//Пробл. бионики. 1987. Вып. 39. С. 75—81.

*Поступила в редколлегию 11.01.90*

УДК 681.3:65

*В. Н. САМСОНКИН, И. М. ФИСЬКО*

### **О ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОТБОРА МАШИНИСТОВ**

В системе мер повышения эффективности производства все большее внимание уделяется вопросам физиологического и психологического состояния человека, разработке информационных банков состояния здоровья человека. Особое значение решение этих вопросов приобретает для тех профессий, которые связаны с перевозочным процессом.

Задачи профессионального отбора не являются новыми. Они ставились и решались для многих профессий, требующих особого внимания, самообладания, находчивости.

Отличием разрабатываемой автоматизированной психофизиологической системы для машинистов метро является: а) попытка увязать все существующие методики в единое целое; б) введение некоторых параметров риска; в) реализация системы на персональной ЭВМ.

Основным недостатком существующих подходов определения состояния человека является попытка ввести некоторую среднюю норму, т. е. диапазон изменения характеристик, куда он должен «вписаться», если хочет работать в данной профессии и может быть допущен к выполнению профессиональных обязанностей.

Решение проблемы профотбора с медицинской точки зрения состоит из решения следующих задач.

1. Определение границ допустимости факторов среды, в которой протекает деятельность.

2. Определение содержания самой профессиональной деятельности и требований к организму, необходимых для выполнения этой деятельности.

3. Выявление вредных факторов, которые представляют опасность для здоровья человека во время непосредственной работы и накапливают свое воздействие, проявляющееся в развитии профессиональных заболеваний.

Создание автоматизированной системы на базе персональной ЭВМ требует, в свою очередь, решения некоторых технических задач: 1) реализация медицинских методик профотбора; 2) осуществление стыковки медицинских приборов с ПЭВМ; 3) разработка программного обеспечения.

Функциональные возможности человека определены генетически, и в зависимости от уровня и развития оценивается адаптационная пригодность к рассматриваемой профессии.

Основанием для проведения данной работы являются Указание МПС «О мерах по организации психофизиологического профотбора машинистов при переводе на вождение поездов без помощника», Указание МПС № 955-У, Приказ Министра путей сообщения СССР «О медицинском освидетельствовании работников железнодорожного транспорта, связанных с движением поездов».

Цель создания системы — автоматизировать процесс профотбора, упорядочить с обеспечением соответствующей обработки информацию об испытуемом, создать базу данных, которая в процессе эксплуатации будет пополняться данными медосмотров. Система разрабатывается как комплекс технических и программных средств, позволяющий реализовать ряд методик психофизиологического отбора, антропометрические исследования, психологические тесты, систематизировать данные в виде автоматизированной медицинской картотеки. Система строится на базе персональной ЭВМ. К ЭВМ через интерфейс подключаются периферийные приборы — как серийные, так и разработанные.

Для реализации методик исследования на монотонноустойчивость, стрессоустойчивость и на эмоциональную устойчивость, а также антропометрических исследований разработаны специальные приборы.

Программная часть комплекса обеспечивает: а) гибкую структуру комплекса при различных режимах работы; б) обработку данных, получаемых через интерфейс; в) организацию автоматизированной картотеки с использованием базы данных; г) реализацию психологических тестов.

В состав технического комплекса входят:

1. Комплекс «Гамма» предназначен для проведения исследований на монотонноустойчивость. Он позволяет проводить обследование по определению способности человека сохранять бдительность в условиях воздействия монотонных факторов. Известно, что такая способность является главным качеством для операторов,

занимающихся деятельностью следящего типа, к числу которых относятся и машинисты метрополитена. Конструктивно прибор состоит из пульта экспериментатора, центрального процессора, пульта испытуемого, набора датчиков, блока питания.

В процессе обследования бдительности возможно параллельное измерение электрического сопротивления кожи для контроля уровня бодрствования. Прибор «Гамма» может использоваться самостоятельно.

2. Подсистема эмоциональной устойчивости. Основные трудности большинства исследований эмоций, проводимых в лабораторных условиях, заключаются в том, что, несмотря на методические ухищрения сама по себе экспериментальная модель является искусственной и лишена ряда существенных элементов реальности. Тем не менее оценка способностей поведения человека в искусственно осложненных ситуациях может способствовать выявлению общих закономерностей его эмоционального реагирования. В аварийных ситуациях эмоциональная устойчивость проявляется в различных формах (импульсивность, суматошность и т. п.) и сопровождается различного рода переживаниями (чувством страха, неуверенностью, беспомощностью и т. п.).

Красно-черная таблица Шульте-Платонова используется для определения скорости переключения внимания и эмоциональной устойчивости. Прибор «красно-черные таблицы» позволяет определять скорость переключения внимания и эмоциональную устойчивость. Конструктивно он представляет собой микросхеменное устройство, выполненное на микросхемах с органами управления и индикации. В состав устройства входят красно-черные таблицы Шульте-Платонова (4 экземпляра). Таблицы выполнены в виде съемного блока с разъемом. На них нанесены черные и красные цифры, под которыми имеются контактные площадки, связанные с разъемом.

В устройстве предусмотрен подсчет количества ошибок и выдача результата на индикаторное табло. Имеется возможность подключения данного устройства к ЭВМ с последующей обработкой результатов тестирования, а также подключение к автономному печатающему устройству.

3. Подсистема антропометрии. Основываясь на положениях М. Я. Ерейтмана с тем, что внутренние взаимоотношения систем организма, определяющие конструкцию тела, отражают общее состояние системы, для характеристики функциональных возможностей были выбраны антропометрические показатели и вариации их соотношений.

Учитывая, что на современном этапе развития данного вопроса в практическом использовании не требуется разработки системы антропометрических критериев оценки с учетом трехмерного измерения динамики отношений частей тела, за основу взяли только линейные размеры тела по общепринятым точкам антропометрических измерений.

Антропометр электронно-механический представляет собой устройство, состоящее из подставки, к которой крепится вертикальная линейка для измерения показателей роста и частей тела.

Прибор позволяет фиксировать размер бесконтактным способом. В качестве метки используется оптическое устройство, фокусирующее светящуюся точку малых размеров на исследуемого.

4. Проведение психофизиологического исследования машинистов метро с использованием автоматизированной системы на базе персонального компьютера на всех этапах сопряжено с получением больших объемов информации. Процесс исследований включает в себя регистрацию, накопление, хранение, обработку информации, получаемой как априорно, так и в результате проведения испытаний. Необходим оперативный доступ к хранимой информации сотрудников и представителей администрации. На основании накапливаемой и анализируемой информации предполагается проводить оценку профессиональной пригодности кандидатов в машинисты, оценку психофизиологического состояния машинистов перед, во время и после рейса, при проведении периодических осмотров.

Функционирование системы предполагает заполнение базы данных результатами проведенных исследований и данными обработки и последующий анализ индивидуальных норм состояния на основе информации базы данных (БД) и возможной коррекции норм, также содержащихся в БД. При этом обеспечивается непосредственный тесный контакт специалистов-медиков и психологов с компьютерной системой и БД. Форма представления информации обеспечивает «дружественность» системы по отношению к пользователю-непрограммисту. Решение информационной проблемы в системе контроля машинистов метро связано с созданием базы данных и автоматизированной системы для ее заполнения, ведения, выдачи запрашиваемой информации.

Система отвечает следующим требованиям: 1) представление пользователю наиболее доступной унифицированной модели данных для облегчения поддержания и пользования системой; 2), независимость данных в подсистеме; 3) простота внесения ограничений на данные заносимые в базу; 4) простота процедур поиска и модификации данных; 5) возможность одновременно оперировать набором записей; 6) простота распределения и защиты информации в базе; 7) отделение процесса создания базы (физического проектирования) от структуры логической модели (логического проектирования), дающее возможность структурного подхода на этапе создания базы данных.

Исходя из целей создания базы данных автоматизированной системы, структуры хранимой информации и соответствия выше перечисленным требованиям выбрана реляционная модель представления данных. Реляционная модель обладает достаточно простой, логичной и стройной структурой. При существующей в системе психофизиологического контроля необходимости в многочисленных однородных записях реляционная модель наиболее удобна.

В качестве реляционной системы управления базой выбрана СУБД *dBASE-III*. *dBASEIII-PLUS* представляет собой [8] реляционную СУБД со встроенным специализированным языком программирования, позволяющим в диалоговом и пакетном (программном) режимах создавать и обслуживать базы данных, включая программную обработку информации из базы. *dBASE* обеспечивает удобные диалоговые и достаточно эффективные средства выполнения функций описания структуры информации, ввода и проверки информации, поиска информации и выдачи ее на печать или экран дисплея.

При построении модели БД учитывалось адекватное представление структуры хранимой информации. Ядром системы является СУБД. При помощи СУБД осуществляется накопление, хранение, обработка информации. Обработка информации, поступающей от периферийных устройств (медицинских приборов, тестирующих устройств), и ее передача в СУБД осуществляется программами-драйверами.

Исходя из существующего регламента работы медработников с картотекой при проведении профотбора, периодических медосмотров, а также предрейсового контроля, определена концепция хранения БД: подсистема «профотбор-медосмотр» и подсистема «предрейс». При разработке автоматизированной системы использован структурный подход: нисходящее проектирование, восходящее программирование. Этот метод позволяет организовать систему таким образом, что в процессе ее разработки и даже в процессе эксплуатации возможно расширение ее функций.

Разрабатываемая система носит комплексный характер. Новизна работы заключается в отсутствии в системе МПС психофизиологических систем профотбора на базе персональных ЭВМ, что является современной мировой тенденцией построения медикотехнических систем. Эффективность работы определяется прежде всего социальными показателями — улучшение здоровья, выявление профнепригодности на ранних стадиях, улучшение качества перевозки, а также и экономическими — улучшение безопасности движения.

**Список литературы:** 1. Брейтман М. Я. Семптика и диагностика эндокринных заболеваний М., 1949. 636 с. 2. Брейтман М. Я. Введение в учение о пропорциях и конституциях человеческого организма. Л., 1924. 320 с. 3. Друзь В. А. Моделирование спортивной тренировки. К., 1980. 96 с. 4. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. М., 1980. 662 с. 5. Стогний А. А., Анянцевский С. А., Барсук Я. И. Программное обеспечение персональных ЭВМ. К., 1989. 368 с. 6. К вопросу определения индивидуальной оценки состояния в системе автоматизации прогнозирования и медицинского контроля за состоянием здоровья//ЭВМ в профилактической кардиологии. Рига, 1983. С. 55—60. 7. Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. Л., 1974. С. 47—59.

Поступила в редколлегию 16.03.90

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ НА ЦВМ

При решении оптимизационных задач геометрического проектирования [1, 2] (ГП), связанных с конструктивными преобразованиями геометрической информации (ГИ) на ЦВМ, возникает необходимость в моделировании геометрических объектов достаточно общего вида. В конечном счете это приводит к выполнению различных построений и вычислений в рамках евклидовой геометрии (ЕГ), условием непротиворечивости которой является непротиворечивость арифметики действительных чисел. Однако, ввиду нереализуемости этой арифметики на ЦВМ, задачи, корректные в рамках ЕГ, могут не иметь решений или оказаться неустойчивыми при моделировании на ЦВМ. Поэтому актуальной проблемой является разработка общего подхода к цифровому описанию евклидовых объектов и отношений между ними, которое обеспечило бы корректное машинное моделирование евклидовых построений. В развитие эвристических методов, предложенных в [1], в данной работе предлагается систематический подход к решению поставленной проблемы на основе построения аксиоматического регуляризованного аналога евклидовой геометрии, который назван координатно-ситуационной геометрией (КСГ).

**1. Координатно-ситуационная интерпретация евклидова пространства.** Рассмотрение погрешностей, средств интервального анализа или нечетких множеств является недостаточным для решения поставленной проблемы, поскольку не только не исключает многозначности и неустойчивости задач, но и приводит к чрезвычайному усложнению программного обеспечения и увеличению вычислительных затрат, что недопустимо для задач ГП, зачастую являющихся *NP* — полными. В той же мере неудовлетворительной является и модель данных на основе дискретной системы координат.

Поэтому далее в работе строится координатно-ситуационная геометрия, назначение которой состоит в том, чтобы для любой корректной (в смысле ЕГ) задачи  $Z$  и устойчивого алгоритма ее решения  $A$  на максимальном множестве геометрически разрешимых ситуаций в некотором смысле естественным сведением получить соответствующие аналоги  $Z^*$ ,  $A^*$ , причем с сохранением (по порядку величины) вычислительной эффективности алгоритма  $A^*$  по трудоемкости  $\kappa$  и затратам памяти  $M$ .

Пусть в пространстве  $R^n$  задана система координат  $\Sigma = \{0; x_1, x_2, \dots, x_n\}$  и метрика  $\rho$ . КС-точкой (или, для краткости, просто точкой)  $T_x$  в КСГ назовем кортеж  $T_x\{x, U, \delta\}$ , где  $x$  — некоторая точка пространства  $R^n$ ,  $U \subset R^n$  — некоторая окрестность точки  $x$ ,

а  $\delta$  — предельная относительная (или абсолютная, при  $\|x\| \approx 0$ ) погрешность представления координат  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ . Для удобства назовем  $x$  — выделенной точкой,  $U$  — носителем, а  $\delta$  — погрешностью задания координат.

Учитывая ту фундаментальную роль, которую числа играют в представлении информации в ЦВМ, КС-объектом назовем произвольное множество точек в  $R^n$ , определяемое некоторым свойством (например, алгоритмом) над явно или неявно заданным множеством КС-точек. Концентрацией  $T_y$  точки  $T_x = \{x, U_x, \delta\}$ ,  $T_y = \text{Соп } T_x$  назовем КС-точку  $\{y, U_y, \delta\}$ ,  $U_y \subset U_x$ . Соответственно определим и концентрацию КС-объекта.

Пусть  $\Omega$  — множество концентраций некоторого КС-объекта, а  $R$  — принцип оптимальности, определяющий целесообразность выбора альтернативы  $\omega \in \Omega$ , которая «наилучшим» (или требуемым) образом отражает цель решения некоторой задачи  $Z$ . Тогда задачу выбора  $\langle \Omega, R \rangle$  назовем  $R$  — концентрацией задачи  $Z$  (регуляризирующей концентрацией).

Обозначим  $\delta$  — окрестность точки  $x$  (области  $U_x$ ) в  $R^n$  через  $\delta_x (\delta_U)$ . Тогда будем говорить, что точки  $T_x, T_y$  находятся в общем положении, если  $\delta_{U_x} \cap \delta_{U_y} = \emptyset$ ; в  $\varepsilon$ -общем положении (или отделимы), если  $\delta_{U_x} \cap \delta_{U_y} \neq \emptyset$  и существуют такие концентрации  $T_x^{\sim}, T_y^{\sim}$ , что  $\rho(x, x^{\sim}) < \varepsilon$ ,  $\rho(y, y^{\sim}) < \varepsilon$  и точки  $T_x^{\sim}, T_y^{\sim}$  находятся в общем положении; конгруэнтны, если не существует концентраций, переводящих их в общее положение.

Погрешность  $\delta$  целесообразно интерпретировать как относительную величину (это и будет предполагаться далее), что соответствует достаточной устойчивости именно относительной погрешности представления чисел в ЦВМ. Только для случая величин, близких к нулю, возникает необходимость обращаться к абсолютным погрешностям, что будет оговорено особо.

Предпочтительное значение  $x$  предполагается использовать в геометрических построениях и вычислениях для получения «точечных» значений, а соответствующие образы областей  $U$  — как «интервальные». При этом  $R$ -концентрация предполагается производить лишь при необходимости регуляризации соответствующей задачи  $Z$ . Именно в этой ситуации и оказывается целесообразным использовать нечеткие множества для задания принципа оптимальности  $R$  или частных его критериев.

Поскольку  $\delta$  — окрестность  $\delta_x$  точки  $x$ , это фактически область неконтролируемых состояний пространства  $R^n$  в смысле отделимости, то, если окрестность  $U$  вложена в  $\delta_x$ , имеем дело с «обычным» приближенным числом  $x$ . И только если область  $U = U_x \setminus \delta_x$  не пуста, получаем область возможных нетривиальных (в смысле отделимости) вариаций выделенной точки.

Таким образом, изменяя соотношение между  $U$  и  $\delta$ , а также допуская различную интерпретацию выделенной точки  $x$  (от пол-

ного ее игнорирования до игнорирования  $U$ ), получаем спектр концептуальных интерпретаций КСГ от «приближенной» ( $U \subset \delta_x$ ) и нечеткой ( $U \setminus \delta_x \neq \emptyset, \mu(x) \neq \text{const}$ ) до евклидовой ( $\delta=0, U=x$ ).

**2. Аксиоматика КС-геометрии.** Говоря о моделировании ЕГ, мы должны прежде всего описать основные ее элементы (точки, прямые, плоскости) и отношения («принадлежит», «между», «конгруэнтно») и удостовериться, что они удовлетворяют соответствующей системе аксиом (далее будем рассматривать гильбертову систему аксиом (ГСА) [3]). Тогда, если введенные понятия будут удовлетворять ГСА, любая корректная в рамках ЕГ задача  $Z$ , решаемая с помощью алгоритма  $A$ , будет иметь прямые аналогии  $Z^*$ ,  $A^*$  в КСГ. К сожалению, установление подобного изоморфизма ввиду указанных ранее причин невозможно. Однако мы можем обеспечить достаточную адекватность модели в пределах отклонений, определяемых лишь точностью представления чисел, если разрешение геометрически неопределенных ситуаций будет производиться не за счет нарушения аксиом ЕГ, а за счет учета погрешностей и применения  $R$ -концентраций. Именно в этом смысле принятие решения (т. е. выбор управления  $u \in U$ ) о концентрации и осуществляет регуляризацию задачи  $Z^*$ , расширяя множество  $S$  задач ЕГ, которые могут решаться на ЦВМ, по отношению к тем, что разрешимы на основе традиционной схемы учета погрешностей и регуляризации за счет построения сходящихся последовательностей.

В соответствии с аксиомами ЕГ полагаем, что всякая пара КС-точек  $T_x, T_y$ , находящихся в общем положении, определяет КС-прямую (КС-отрезок)  $L_{xy} = \{l, U_{xy}, \delta\}$  (соответственно  $r_{xy} = \{r, \bar{U}_{xy}, \delta\}$ ), где  $l(r)$  — выделенная прямая (отрезок), проходящая через точки  $x, y$ , а  $U_{xy} = U_x \times U_y (\bar{U}_{xy})$  — множество пар точек из  $U_x$  и  $U_y$ , определяющих прямые (отрезки), в совокупности определяющие носитель для КС-прямой  $L_{xy}$  (КС-отрезка  $r_{xy}$ ); как и выше,  $\delta$  определяет погрешность задания точек  $x$  и  $y$ .

КС-точка  $T_z$  находится в общем положении к КС-прямой  $L_{xy}$  если  $\delta_{U_z} \cap \delta_{U_{xy}} = \emptyset$ ; соответственно к КС-отрезку  $r_{xy}$ , если  $\delta_{U_z} \cap \delta_{\bar{U}_{xy}} = \emptyset$ . Три точки находятся в общем положении (не лежат на одной прямой), если каждая пара из них находится в общем положении и произвольная точка из них находится в общем положении к прямой, определяемой остальными двумя точками. Три точки  $T_x, T_y, T_z$ , находящиеся в общем положении, определяют КС-плоскость  $P_{xyz} = \{\pi, U_{xyz}, \delta\}$ , где  $\pi$  — выделенная плоскость, проходящая через точки  $x, y, z \in R^n$ , а  $U_{xyz} = U_x \times U_y \times U_z$  — множество троек точек, соответственно взятых из областей  $U_x, U_y, U_z$ , которое определяет плоскости, в совокупности составляющие носитель  $U_{xyz}$  КС-плоскости  $P_{xyz}$ .

В приведенных выше определениях точки выделенной прямой плоскости задаются параметрически, т. е. некоторым алгоритмом над  $\{x, y, z\}$ . Поэтому говорить о принадлежности точки  $p \in R^n$  некоторой выделенной плоскости  $\pi$  (или прямой  $l$ ) можно только

в смысле вычислительной математики, т. е. с учетом погрешностей задания точек  $x, y, z, p$  и погрешности  $\Delta$  метода проверки условия принадлежности. Соответствующую предельную абсолютную погрешность  $\Delta_\pi(p)$  (или  $\Delta_p(p)$ ) отклонения точки  $p$  от плоскости  $\pi$  (прямой  $l$ ) назовем погрешностью идентификации плоскости (прямой) в точке  $p$ . Следовательно, евклидово понятие «точка принадлежит плоскости» в КСГ примет вид  $\rho(p, \pi) < \Delta_\pi(p)$ ; для точки  $p$  и прямой это условие примет вид  $\rho(p, l) < \Delta_l(p)$ , а для прямой  $l$  и плоскости  $\pi$  в некоторой области  $F \subset R^n: \forall p \in l \cap F: \rho(p, \pi) < \Delta_\pi(p)$ .

Далее назовем КС-прямые  $L_1 = \{l_1, U_1, \delta\}$  и  $L_2 = \{l_2, U_2, \delta\}$  в некоторой области  $F \subset R^2$  конгруэнтными, если

$$\begin{cases} \forall p \in l_1 \cap F: \rho(p, l_2) < \Delta_{l_2}(p); \\ \forall t \in l_2 \cap F: \rho(t, l_1) < \Delta_{l_1}(t) \end{cases} \quad (1)$$

и не существует концентраций КС-прямых  $L_1$  и  $L_2$ , нарушающих условие (1). Аналогично определим конгруэнтность КС-плоскостей.

Наконец, будем говорить, что КС-точка  $T_c$  лежит между КС-точками  $T_x$  и  $T_y$ , если любые две из этих трех точек находятся в общем положении, выделенная точка  $c \in R^n$  принадлежит прямой  $l_{xy}$  и, с учетом соответствующих погрешностей, выполняется

$$\rho(x, c) + \rho(c, y) = \rho(x, y). \quad (2)$$

Более того, если  $U_c \subset U_{xy}$ , будем говорить, что КС-точка  $T_c$  лежит на КС-прямой  $l_{xy}$ .

Аксиомы ЕГ могут нарушаться в КСГ: локально, так как не для всяких двух точек  $x, y$  на прямой  $l_{xy}$  может существовать лежащая между ними точка  $z$ ; глобально, так как на КС-плоскости пересекаются не только любые две КС-прямые, но и определяемые ими выделенные прямые, рассматриваемые с учетом соответствующих погрешностей.

При этом если регуляризация на основе концентраций позволяет уменьшить область локально неопределенных ситуаций, т. е. существенно «ослабить» проблему отдельности КС-точек, то для разрешения проблемы о нарушении аксиомы о параллельных естественно ограничиться рассмотрением не всей плоскости, а некоторой ограниченной области  $F$ , что и сделано в приведенном выше определении.

Допустим, что решение задачи  $z$  может быть получено при рассмотрении точек, лежащих в ограниченной выпуклой области  $F \subset R^n$ , с помощью алгоритма  $A$ . Тогда будем говорить, что соответствующая ей в КСГ задача  $Z^*$  является  $(F, U, \delta)$  — разрешимой, если применение алгоритма  $A^*$  к выделенным точкам дает устойчивое решение задаче  $Z^*$ ; при этом качественное отличие алгоритма  $A^*$  от алгоритма  $A$  состоит в том, что получение решения сопровождается для выделенных элементов учетом погрешностей, производимым традиционными способами; парал-

лельно действиями над выделенными элементами производятся соответствующие действия над носителями; в критичных случаях (при нарушении аксиом и т. п.) на основе решения задачи выбора  $\langle \Omega, R \rangle$  выполняются требуемые концентрации.

Анализ выполнения аксиом ЕГ, представленных в виде ГСА, показывает, что учет погрешностей и применение концентраций (в требуемых неопределенных ситуациях) обеспечивает их справедливость и в КС-геометрии за исключением:

аксиомы  $IV_2$ , связанной с рассмотрением бесконечных последовательностей, не имеющих практического значения (для всякой конечной последовательности она выполняется);

аксиом ( $II_2$  и  $II_4$ ), связанных с отделимостью несовпадающих точек, невыполнение которых может иметь место на пределе точности и представления чисел ( $\delta_A \cap \delta_B = \emptyset, \forall C: A < C < B \Rightarrow \delta_A \cap \delta_C \neq \emptyset, \delta_B \cap \delta_C \neq \emptyset$ ); эту ситуацию назовем слабой отделимостью точек  $T_a$  и  $T_b$ .

Следовательно, задача  $Z^*$  является  $(F, U, \delta)$ -разрешимой с помощью алгоритма  $A^*$ , если в процессе его выполнения не возникает проблема отделимости (т. е. необходимость рассмотрения точки между слабо отделимыми точками).

**3. Алгоритмизация задач КС-геометрии.** Рассмотренный выше общий принцип построения КС-аналогов ( $Z^*, A^*$ ) евклидовой модели  $(Z, A)$  алгоритмически может быть представлен схемой обработки исключений [1]. Суть этой схемы состоит в регуляризации алгоритма  $A$  посредством внедрения на критичных шагах унифицированных процедур анализа ситуаций (где могут нарушаться аксиомы ЕГ) и выполнения концентраций и отображений носителей и погрешностей. Использование этой методики позволяет оценить трудоемкость  $\kappa'$  алгоритма  $A^*$  величиной порядка  $k\kappa$ , где  $\kappa$  — трудоемкость алгоритма  $A$ , а  $k$  — константа, определяющая трудоемкость регуляризации на соответствующих шагах алгоритма  $A$ . При этом затраты памяти также возрастают не более чем линейно за счет представления точек пространства  $R^n$  соответствующими кортежами.

Следовательно, привлечение КСГ к решению задач ГП в общем влечет не более чем линейный рост затрат вычислительных ресурсов, обеспечивая при этом решение задач «почти везде», т. е. практически для любых «корректных» для ЕГ данных, кроме случаев слабой отделимости. Однако КС-интерпретацию задач ЕГ следует считать неполной без рассмотрения как способов формирования геометрических объектов общего вида, так и операций над ними.

Для описания геометрических объектов достаточно [1, 2, 4] воспользоваться системой в некотором смысле «простейших» базовых элементов, из которых на основе использования теоретико-множественных операций можно формировать произвольные объекты, удовлетворяющие требуемым свойствам. Наиболее целесообразным для этого является использование конструкций типа полнэдр [5], который определяется как пространство  $|K|$  комплек-

са  $K$ , т. е. как множество всех точек пространства  $R^n$ , принадлежащих симплексам  $\{s_p^q\}$  комплекса  $K$ , где  $p$  — размерность симплексов. Сам комплекс может быть задан множеством вершин и схемой вершин  $V$ , либо аксиомами: (K1)  $s_p \in K$ ,  $s_q < s_p \Rightarrow s_q \in K$ ; (K2) различные симплексы из  $K$  попарно не пересекаются.

Соответственно будем говорить, что множество вершин  $T_0, T_1, \dots, T_p$  и схема вершин  $V$  образуют полиэдр  $|K|$ , если КС-точки  $\{T_i\}_i$  находятся попарно в общем положении, совокупность выделенных точек  $\{t_i\}_i$  и схема  $V$  образуют полиэдр в традиционном понимании, а аксиома (K2) распространяется на носители симплексов, не имеющих общих граней. Например, КС-аналогом  $p$ -симплекса, натянутого на точки  $T_0, T_1, \dots, T_p$ , является КС-точка ( $p=0$ ), КС-отрезок ( $p=1$ ), КС-треугольник ( $p=2$ ), КС-тетраэдр ( $p=3$ ) и т. д.

Сформировав понятие геометрического объекта в КСГ как КС-полиэдра, перейдем к интерпретации указанных выше бинарных операций над КС-объектами, использование которых является основным способом интерпретации действий над объектами в ГП.

В общем случае операции  $\cup$ ,  $\cap$  и  $\setminus$  некорректны при рассмотрении геометрических объектов; при этом основная сложность их регуляризации состоит в интерпретации касаний объектов, которые, как правило, не следует допускать. Касание симплексов данного полиэдра в этом плане не вносит проблем, так как полностью определяется аксиомой (K1). Вводя для КС-полиэдров подобные рассмотренным выше понятия отделимости и общего положения, будем говорить, что  $|K_1|$  и  $|K_2|$  имеют касание, если существуют концентрации, обеспечивающие сильную отделимость всех пар граничных симплексов  $s_i \in K_1, s_j \in K_2$ .

Если полиэдры  $|K_1|$  и  $|K_2|$  имеют касание, то имеет место некорректная ситуация, которая должна быть регуляризована в соответствии с принципом оптимальности  $R$ ; т. е. с помощью соответствующих концентраций полиэдры должны быть переведены в состояние общего положения или пересечения. В последнем случае естественным образом определяется их общая часть — полиэдр  $|K_{12}|$ , а значит, и аксиоматически корректные подкомплексы  $K'_1 = K_1/K_{12}$  и  $K'_2 = K_2/K_{12}$ . При этом для концентраций  $|K'_1 \cup K_{12}|$  и  $|K'_2 \cup K_{12}|$  исходных КС-полиэдров применение операций  $\cup$ ,  $\cap$  и  $\setminus$  будет корректно.

**Список литературы:** 1. Смеляков С. В. Учет погрешностей при обработке геометрической информации на ЦВМ. Х., Деп. в ВИНТИ. 15 марта 1982. № 1176—82. 2. Смеляков С. В., Стоян Ю. Г. Моделирование пространства путей в задачах построения оптимальных траекторий // Журн. вычисл. мат. и мат. физики. 1983. № 1. С. 73—82. 3. Математическая энциклопедия. М., 1977. Т. 1. 1152 стб. 4. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия. М., 1987. 478 с. 5. Хилтон П. Дж., Уайли С. Теория гомологий. М., 1966. 458 с.

Поступила в редколлегию 03.05.90

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА БОЛИ. Сообщение 1.

История исследования механизма возникновения боли насчитывает не одно столетие. К настоящему времени определились две основные теории боли: теория «специфичности» и теория «интенсивности» [1]. Согласно первой боль рассматривается как самостоятельный вид специфической анализаторной системы со своим периферическим рецепторным аппаратом, проводящими путями и кортикальной зоной, трансформирующей ее афферентные сигналы в болевое ощущение. Эта сенсорная система стала называться ноцицептивной и по своей сути находится в одном ряду с другими анализаторными системами—зрительной, слуховой и др. По второй теории за болевое ощущение ответственны одни и те же рецепторы каждой сенсорной модальности, которые при слабых и умеренных силах своих раздражителей формируют свои специфические ощущения, а при чрезмерных — болевое ощущение.

Таким образом, по первой теории предполагается наличие специфической болевой зоны в коре, а по второй допускается, что эта зона как бы рассредоточена по разным анализаторным зонам коры. Несмотря на то, что сторонники каждой из указанных теорий располагают своим экспериментальным материалом, подтверждающим их точки зрения, большинство исследователей склоняется в пользу теории «специфичности». Однако многие вопросы этой теории, и в частности структурной организации ноцицептивной системы, до настоящего времени остаются во многом не ясными. Хотя боль рассматривается как ощущение, что означает его кортикальное происхождение по аналогии со зрительным, слуховым ощущением, тем не менее отдельные авторы [2] это определение боли признают не полным. Они предлагают рассматривать «боль как интегративную функцию организма, которая мобилизует самые разнообразные функциональные системы для защиты организма от воздействия вредящего фактора и включает такие компоненты, как сознание, ощущение, память, мотивации, вегетативные, соматические и поведенческие реакции, эмоции» [2]. Соглашаясь с таким более емким определением физиологического смысла боли, необходимо выяснить конкретные механизмы ее возникновения, ответить на вопрос, каким образом боль осуществляет мобилизационные функции организма на его защиту от воздействия вредящего фактора.

Известно, что болевые ощущения фиксируются корой из разных участков тела, начиная с кожных покровов и кончая внутренними органами. Боль может быть вызвана также с рецепторов мышц и сухожилий, кровеносных артериальных сосудов, надкостницы, суставных сумок и др. Болевые ощущения возникают при

специфических формах раздражения тех участков тела, с которых она формируется. Так, «артериальную» боль вызывает спазматическое сужение артерий или их внезапное расширение, при которых происходит в первом случае сильное возбуждение мышечных веретен, а во втором — тензорецепторов. Хотя при этом возбуждаются и ноцицепторы. Другой пример с желудком, который, как известно, в нормальных условиях нечувствителен к боли, что демонстративно проявляется при механическом воздействии на его стенки в виде уколов, резания, прижигания. Однако воспаление его слизистой вызывает острую боль. Очень болезненно воспринимается также механическое растягивание стенки желудка. Сильная боль ощущается и при резких сокращениях гладких мышц, желудочной стенки, например, при голоде. Подобных примеров можно привести немало. Все они указывают на два важных факта: с одной стороны, проекция болевых ощущений в коре топографически связана с проекцией конкретного органа, участка тела на кору, а с другой — болевая афферентация поступает в эти зоны коры практически со всех участков организма. Вместе с тем первый факт указывает на рассредоточенность болевого ощущения по разным зонам коры, а значит, и ноцицептивных кортикальных нейронов, трансформирующих ноцицептивную афферентацию в болевое ощущение. Отсюда следует, что автономной болевой кортикальной анализаторной зоны по аналогии, скажем, со зрительной или слуховой в коре, видимо, не существует. Эта особенность ноцицептивной анализаторной системы определяется, вероятно, ее функциональной направленностью, нацеленной на выявление той или иной опасности конкретно для каждого участка организма. А это можно сделать только при условии тесного сопряжения проекции болевого ощущения с проекцией конкретного участка организма на кору. Именно в этом случае индивид способен при возникновении болевого ощущения определить место его локализации в организме, а значит, и принять адекватные меры для его устранения. Если же все болевые афферентные сигналы сходились бы к одной автономной ноцицептивной кортикальной зоне, то вероятность дифференциации болевого ощущения и оценки его связи с конкретным участком организма была бы резко затруднена или оказалась вообще невозможной. Подтверждением сказанного в определенной степени может служить так называемый закон проекции ощущений, согласно которому «болевое ощущение, формирующееся в высших отделах ЦНС, всегда относится к начальной рецепторной зоне определенного сенсорного пути независимо от того, в какой точке этого пути наносится раздражение» [2].

Таким образом, ноцицептивная анализаторная система, занимающая свое равноправное положение среди анализаторных систем человека, по своей структурной организации принципиально отличается от зрительной и слуховой с их локальными кортикальными зонами, формирующими ощущения. Это различие заключается, с одной стороны, в рассредоточенном распределении пери-

ферических рецепторных аппаратов по всему организму, а с другой — адекватном им рассредоточенном распределении ноцицептивных кортикальных нейронов, формирующих болевое ощущение по разным зонам коры.

По-видимому, по такому же принципу построена структурная организация и других анализаторных систем, связанных, в частности, с рецепторами осязания, давления, холода, тепла и др.

Ноцицептивные рецепторы, и в частности кожи, большинство исследователей [1, 2] оценивает в виде свободных нервных окончаний разной конфигурации, разветвляющихся в ее поверхностных слоях. Наряду с нервнопроводниковыми ноцицепторами существуют также и хемонотицепторы гуморальной системы, которые повышенные концентрации тех или иных гуморальных агентов, возникающие при патологическом процессе, трансформируют в ноцицептивные афферентные сигналы. Так, известно, что биологически активные вещества из группы кининов способны вызывать раздражения нервных окончаний ноцицепторов, приводящих к болевым ощущениям. Надо полагать, что в гуморальной системе существует своя индикаторная ноцицептивная система, следящая за концентрацией жизненно необходимых ее компонентов, прежде всего, кислорода и углекислоты и реализуемая через свой хемонотицептивный аппарат.

Вероятно, для ноцицепторов, как впрочем и для рецепторов других модальностей, свойственна своя динамическая характеристика, определяющая зависимость интенсивности афферентного сигнала от силы раздражения. Только для них в сравнении с динамическими характеристиками других рецепторных модальностей она имеет более выраженный ступенчатый характер, связанный с наличием ноцицепторов, резко отличающихся по своей пороговой чувствительности. Поэтому логично разделить ноцицепторы с грубой пороговой чувствительностью, фазный афферентный сигнал с которых возникает при больших уровнях воздействующих на них раздражителей, и с высокой пороговой чувствительностью, тонический афферентный сигнал с которых формируется при слабых раздражениях и при этом, главным образом, по адренергическому каналу.

С учетом изложенного проследим путь прохождения афферентных ноцицептивных сигналов, начиная от периферического рецептора, например, кожного участка, вплоть до его ноцицептивного кортикального нейрона. Афферентный ноцицептивный сигнал  $I_{ан}$  с ноцицепторов ( $P_n$ ) (рис. 1) по своему аксону приходит на свой чувствительный нейрон ( $ЧН_{ну}$ ) спинномозговых узлов. Далее сигнал по ноцицептивному афферентному волокну поступает на вставочный нейрон ( $ВН_{сз}$ ) задних рогов спинного мозга. При этом коллатеральная ветвь, отходящая от афферентного волокна, возбуждает интернейрон желатинозной субстанции, выходной сигнал с которого замыкается далее на  $ВН_{сз}$ , выполняя роль фазной обратной отрицательной связи.

Этот интернейрон автоматически регулирует усиления по основному каналу. Более того, автор склонен допустить, что интернейроны желатинозной субстанции функционально ориентированы на реализацию фазных обратных отрицательных связей по отношению не только к ноцицептивным афферентным сигналам, но и ко всем остальным афферентным сигналам, входящим через задние корешки в спинной мозг. И в этом смысле желати-

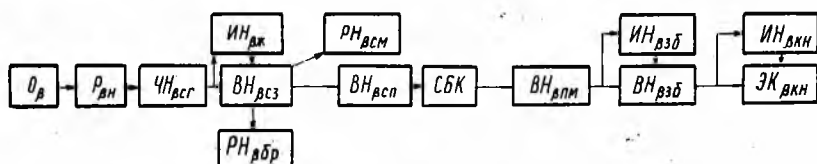


Рис. 1. Структурная организация ноцицептивной аналитической системы  $O_v$  — орган,  $P_{ан}$  — ноцицептор,  $ЧН_{всг}$  — чувствительный нейрон спинномозговых ганглиев,  $ВН_{всз}$  — вставочный нейрон задних рогов спинного мозга,  $ИН_{жк}$  — интернейрон желатинозной субстанции,  $РН_{всм}$  — ретикулярный нейрон промежуточной области спинного мозга,  $РН_{вбр}$  — ретикулярный нейрон боковых рогов спинного мозга,  $ВН_{всп}$  — вставочный проекционный нейрон задних рогов спинного мозга,  $СБК$  — спинно-бугровый канатик,  $ВН_{впм}$ ,  $ВН_{взб}$  — вставочные нейроны продолговатого мозга и зрительных бугров,  $ИН_{взб}$ ,  $ИН_{вкн}$  — интернейроны зрительных бугров и коры  $ЭК_{вкн}$  — эфферентные кортикальные ноцицептивные нейроны

нозная субстанция действительно выполняет функцию «входных ворот» спинного мозга по демпфированию афферентных потоков больших интенсивностей. Ноцицептивные сигналы в этом потоке не являются исключением. Поэтому точка зрения ряда авторов [3], указывающая на роль желатинозной субстанции в понижении болевых ощущений, нам представляется обоснованной, а механизм ее реализации осуществляется, видимо, через фазные обратные отрицательные связи ее интернейронов. Теперь необходимо проследить путь сигнала  $I_{ан}$  после  $ВН_{всз}$ . По данным [4, 5], в сером веществе задних рогов имеется две группы вставочных нейронов: спинальные ( $ВН_{всз}$ ), осуществляющие связи с нейронами внутри серого вещества, и проекционные ( $ВН_{всп}$ ), от которых их аксоны формируют восходящие афферентные пути в головной мозг. Поэтому можно допустить, что после  $ВН_{всз}$  происходит мультипликаторное усиление сигнала  $I_{ан}$ . При этом одна его часть направляется к  $ВН_{всп}$ , а другая — к ретикулярным нейронам промежуточной зоны спинного мозга, третья же — к ретикулярным нейронам боковых рогов спинного мозга.

Согласно предыдущим исследованиям автора [6, 7], структурная организация ретикулярной формации представлена в виде трех крупных зон: соматической ( $РФ_с$ ), парасимпатической ( $РФ_п$ ) и симпатической ( $РФ_с$ ). В свою очередь, каждая из этих зон  $РФ$  делится на подзоны и, в частности, крупные подзоны,

локализованные соответственно в ретикулярной формации головного и спинного мозга. Кроме того, каждая подзона РФ подразделяется на свои микрозоны (мРФ). Подобная дифференциация структурной организации РФ обусловлена не только гистологическими особенностями их структур [8], но и функциональными ориентирами. Однако общая функция всех этих зон РФ сводится в конечном итоге к активации эффекторных аппаратов в рамках двойной реципрокной иннервации и регуляции [6, 7]. Эта активация, дифференцированная по своей форме, характеризуется тем, что каждая подзона и ее микрозоны нацелены на свой регион организма, а точнее — ту группу эффекторов, которая находится в нем.

В спинном мозге, так же как и в головном мозге, представлены все три подзоны:  $РФ_{ac}$ ,  $РФ_{pc}$ ,  $РФ_{vc}$ . Причем ретикулярные нейроны ( $РН_{ac}$  и  $РН_{pc}$ ) зон  $РФ_{ac}$  и  $РФ_{pc}$  локализованы, видимо, преимущественно в межточечной области спинного мозга, а ретикулярные нейроны ( $РН_{vc}$ ) зоны  $РФ_{vc}$  — в боковых рогах спинного мозга, а точнее — от бокового рога к заднему через боковые столбы идут сетчатые перекладины серого вещества, которые и образуют эту зону.

Таким образом, афферентные сигналы, входящие в спинной мозг, оказывают стимулирующее воздействие на все зоны РФ спинного мозга. Правда, между ними имеется, видимо, определенная дифференциация, заключающаяся в том, что одна группа афферентных сигналов стимулирует преимущественно зону  $РФ_{ac}$ , другая — зону  $РФ_{pc}$ , а третья — зону  $РФ_{vc}$ . Эта дифференциация обусловлена, с одной стороны, различием пороговой чувствительности ретикулярных нейронов, а с другой — интенсивностью самих афферентных сигналов. Надо полагать, что ретикулярные нейроны зоны  $РФ_{ac}$  отличаются более грубой пороговой чувствительностью, чем ретикулярные нейроны зоны  $РФ_{pc}$ , а тем более зоны  $РФ_{vc}$ .

Если допустить, что на пути афферентного сигнала к ретикулярным нейронам зоны  $РФ_{vc}$  существуют дополнительные уровни интернейронов с их обратными отрицательными связями, главным образом, по отношению к быстрофазным афферентным сигналам, то можно считать, что зона  $РФ_{vc}$  стимулируется всем спектром афферентных сигналов, входящих в спинной мозг. В этом случае энергетический потенциал  $E_{vc}РФ_{vc}$  условно можно представить в виде уравнения:

$$E_{vct} = E_{vco} + k_1 \cdot \sum_{i=1}^m I_{a_{a1}} + k_2 \cdot \sum_{i=1}^n I_{a_{n1}} + K_3 \cdot \sum_{i=1}^z I_{a_{r1}} \pm k_4 \cdot I_{k1}, \quad (1)$$

где  $E_{vco}$ ,  $I_{a_{a1}}$ ,  $I_{a_{n1}}$ ,  $I_{a_{r1}}$ ,  $I_{k1}$ ,  $k$  — соответственно энергетический потенциал зоны  $РФ_{vc}$  в фазе медленного сна, афферентные сигналы с экстеро- и интерорецепторов, гуморальные и кортикальные сигналы, коэффициенты пропорциональности.

Вместе с тем уравнение (1) указывает на интегративную функцию зоны РФ, и, в частности, ее спинальной подзоны  $РФ_{vc}$ . Фи-

физиологическая целесообразность интеграции афферентных сигналов разной модальности на ретикулярных нейронах этой зоны объясняется ее адаптационной функцией, направленной на установление режима регуляции функциональных систем в рамках принципа двойной реципрокной иннервации и регуляции (ДРП), адекватного текущему моменту времени с его внешними и внутренними раздражителями, воздействующими на них [6, 7]. Зоны же  $R\Phi_{\alpha}$  и  $R\Phi_{\beta}$  и, в частности, их спинальные подзоны  $R\Phi_{\alpha c}$  и  $R\Phi_{\beta c}$  особенно первая, стимулируются значительно меньшим диапазоном афферентных сигналов разной модальности в виду более грубого порога стимуляции их ретикулярных нейронов. На них воздействуют главным образом афферентные сигналы с мышечных веретен. Причем подзона  $R\Phi_{\alpha c}$  стимулируется с мышечных веретен быстрофазных мышечных волокон (соматических) скелетных мышц, а подзона  $R\Phi_{\beta c}$  — с мышечных веретен медленнофазных мышечных волокон (парасимпатических) скелетных мышц.

Сравнивая указанные выше три зоны  $R\Phi$  с точки зрения их стимуляции афферентными сигналами, видим, что зона  $R\Phi_{\nu}$  и ее подзоны, размещенные в спинном мозге ( $R\Phi_{\nu c}$ ), продолговатом мозге ( $R\Phi_{\nu n}$ ), гипоталамусе ( $R\Phi_{\nu r}$ ) и других участках отличаются явно выраженной интегративной особенностью афферентных сигналов разной модальности, которая соответственно определяет ее адаптационную функцию.

При наличии такой обширной интеграции афферентных сигналов на ретикулярных нейронах зоны  $R\Phi_{\nu}$  и ее подзон последние характеризуются еще одной уникальной особенностью, заключающейся в том, что в микрizonaх этой зоны сходятся афферентные сигналы не только разной модальности, но и от разных участков организма. Иначе говоря, каждая микрizona  $R\Phi_{\nu}$ , стимулируемая в силу своих анатомических особенностей своей группой афферентных сигналов от разных участков организма, становится как бы общим для них звеном, своего рода их общим энергетическим узлом активации по адренергическим каналам ДРП их эффекторных аппаратов (рис. 2). В этом случае активирующий сигнал этого узла является общим для эффекторных аппаратов разных участков организма, сопряженных между собой через микрizona  $R\Phi_{\nu}$ . Хорошо известные метамерные проекции спинного мозга дополнительно подтверждают указанную выше особенность микрizona  $R\Phi_{\nu}$  и прежде всего ее подзоны  $R\Phi_{\nu c}$ . Мы бы указали более определенно, что подобная особенность  $R\Phi$  присуща главным образом ее зоне  $R\Phi_{\nu}$ . И в этом, на наш взгляд, заключается ее принципиальное отличие от других зон  $R\Phi$ . Автор подробно остановился на анализе структурной организации  $R\Phi$  по той причине, что она имеет самое непосредственное отношение к механизму формирования боли, включая в том числе механизм формирования так называемых «эхо-болей», который рассматривается ниже. В то же время сам



факт непосредственной связи ноцицептивной афферентации с ретикулярной формацией доказан многими исследователями [1, 2]. Так Г. Н. Кассиль [1], основываясь на результатах исследований ряда авторов, пишет: «...можно считать установленным, что при любом раздражении поверхности кожи поступающие с периферии импульсы заряжают ретикулярную формацию мозгового ствола». И далее: «...можно считать доказанным, что во время болевого раздражения ретикулярная формация посылает в кору головного мозга огромное число нервных сигналов, это приводит к резкому изменению активности корковых нейронов» [1]. Более того, по данным [2], локальные болевые ощущения, вызванные на периферии, приводят к десинхронизации электроэнцефалограммы. При этом реакция на болевое раздражение проявляется раньше в ретикулярной формации ствола мозга и вслед за ней — в коре больших полушарий. Доказано также, что «при разрушении ретикулярной формации блокируется реакция активации в коре больших полушарий, возникающая в ответ на ноцицептивное раздражение» [2].

Проследивая точки зрения разных авторов, указывающие на связь боли с ретикулярной формацией, видно, что они ее усматривают только с ретикулярной формацией ствола мозга и, в частности, с ее мезенцефалической подзоной. Иначе говоря, рассматривая ноцицептивную афферентацию, как одну из сенсорных модальностей, она наряду с другими по их мнению принимает равноправное участие в стимуляции неспецифической восходящей активирующей системы ствола мозга. При этом ни один из авторов, насколько нам известно, не указывает на возможность стимуляции ноцицептивными сигналами второй спинальной неспецифической системы. Последняя, по мнению автора, представлена подзонами  $РФ_{ac}$  и  $РФ_{pc}$  локализованными в межуточной области серого вещества спинного мозга с их периферическим стимуляционным рецепторным аппаратом. Ее неспецифическая активирующая функция направлена, с одной стороны, на организацию тонуса спинальных эффекторных аппаратов соматического и парасимпатического вида, а с другой — на связь с неспецифической системой ствола мозга с целью передачи активирующей спинальной неспецифической афферентации в адрес неспецифической активирующей системы ствола мозга. Надо полагать, что между этими двумя неспецифическими активирующими системами — стволовой и спинальной, существуют взаимные связи в виде стволово-спинальных и спинно-стволовых. Смысл этих связей, как отмечалось ранее [9], заключается в том, чтобы передавать влияние афферентных сигналов с экстерорецепторов зрения, слуха, обоняния и других, оказывающих стимулирующее воздействие на подзоны ретикулярной формации ствола, на спинальную неспецифическую систему, т. е. подзоны  $РФ_{ac}$  и  $РФ_{pc}$ , включая и  $РФ_{sc}$ , а влияние афферентных сигналов, стимулирующих спинальную неспецифическую систему — на неспецифическую систему ствола мозга, то есть его подзоны ретикулярной формации

и прежде всего мезенцефалическую и продолговатого мозга. Этим самым достигается, с одной стороны, стимуляционное воздействие всех видов афферентных сигналов на обе неспецифические системы, а с другой—относительное выравнивание их энергетических потенциалов между собой. Но самое главное назначение этих взаимных связей, по мнению автора, сводится к обеспечению адаптации организма как единого целого. Поэтому эти связи с их неспецифическими системами следует рассматривать как структурную основу адаптационных механизмов организма.

И наконец, на тесную связь ноцицептивной афферентации с ретикулярной формацией указывают факты генерализованного изменения режима регуляции функциональных систем под влиянием локального болевого раздражения. Причем чем сильнее это раздражение, тем обширнее ответная генерализация. Поскольку ретикулярная формация отличается генерализованной формой воздействия на функциональные системы, и в частности их эффекторные аппараты, в виде активирующих сигналов в рамках ДРП, нацеленных на формирование исходного текущего тонуса, логично заключить, что генерализованная форма воздействия ноцицептивного раздражителя проявляется именно через ретикулярную формацию. Одновременное изменение режима регуляции функциональных систем под воздействием локального болевого раздражения зафиксировано многими исследователями на системе дыхания, кровообращения, эндокринной системе, на кортикальном уровне [1, 2].

С учетом вышесказанного проследим дальнейший путь ноцицептивных сигналов, направляющих в головной мозг. От вставочного проекционного нейрона задних рогов спинного мозга начинаются восходящие афферентные волокна, которые, перекрещиваясь между правой и левой половинами спинного мозга, образуют нервный пучок — спинно-бугровый канатик. Последний расположен в передне-боковом столбе спинного мозга. На своем пути в таламус ноцицептивная афферентация оказывает стимулирующее влияние на подзоны  $РФ_{\alpha n}$  варолиева моста,  $РФ_{\beta n}$  и  $РФ_{\gamma n}$  продолговатого мозга,  $РФ_{\beta m}$  среднего мозга,  $РФ_{\beta r}$  и  $РФ_{\gamma r}$  гипоталамуса либо через вставочные нейроны продолговатого и среднего мозга, гипоталамуса, либо через коллатеральные ветви, а возможно, и тем и другим способом. Основной же тракт спинно-бугрового канатика направляется в более высшие подкорковые слои.

Поскольку ноцицептивная афферентация должна в конечном итоге трансформироваться в болевое ощущение, а последнее, как и другие модальности ощущения, реализуются кортикальными нейронами, то афферентные ноцицептивные пути должны направляться именно к ним. Зрительные бугры с их релейной функцией являются общим предкортикальным звеном практически для всех видов анализаторных систем, в том числе и ноцицептивной. Однако при наличии рассредоточенности рецепторных и кортикальных аппаратов ноцицептивной анализаторной системы следует ожи-

дать адекватной рассредоточенности и среди ее проводящих путей на их разных уровнях, в том числе и зрительных бугров. Иначе говоря, той компактности, которой отличаются проводящие пути зрительной и слуховой анализаторных систем, просто не существует.

По-видимому, нейроны зрительных бугров выполняют не только релейную функцию. Более того, автор допускает, что она не является и доминирующей для них. Основная функция нейронов зрительных бугров, вероятно, аналогична той же роли, которую выполняют интернейроны желатинозной субстанции спинного мозга. Только здесь интернейроны зрительных бугров демаскируют афферентные сигналы на их подступах к кортикальным нейронам в рамках той же фазной обратной отрицательной связи. И в этом смысле зрительные бугры головного мозга являются аналогом желатинозной субстанции спинного мозга. Разница между ними состоит лишь в том, что первые являются «входными регулируемыми воротами» для афферентных сигналов, направляющихся в кору, а вторая — желатинозная субстанция — «входными регулируемыми воротами» для тех же афферентных сигналов, входящих в спинной мозг. Хотя не исключено, что промежуточные нейроны продолговатого и среднего мозга, Варолиевого моста, гипоталамуса помимо их усилительной функции могут выполнять ту же роль, что и интернейроны зрительных бугров и желатинозной субстанции.

Правомочность аналогии между желатинозной субстанцией и зрительными буграми подтверждается также идентичным характером изменения болевого ощущения при раздражении их интернейронов.

После зрительных бугров проводящие пути распределяются по целому ряду зон коры, направляясь к своим ноцицептивным кортикальным нейронам в соответствии с топографическими проекциями их периферического рецепторного аппарата. Понятно, что ноцицептивные кортикальные нейроны, как, впрочем, кортикальные нейроны других анализаторных систем, выполняют функции эффекторных аппаратов, которые сводятся к преобразованию афферентной импульсации в ощущение той или иной модальности. Поэтому как эффекторный аппарат они должны иметь двойную реципрокную иннервацию и свои характеристики. Среди них особый интерес представляет динамическая характеристика, определяющая зависимость изменения силы ощущения от интенсивности афферентной импульсации. Динамический диапазон кортикальных ноцицептивных нейронов обеспечивается, с одной стороны, микродинамическим диапазоном отдельных нейронов, а с другой — наличием в коре ноцицептивных нейронов разной пороговой чувствительности, адекватно сопряженных с разными по пороговой чувствительности ноцицепторов.

По-видимому, и в коре наряду с преобразующими эффекторными ноцицептивными нейронами существуют свои кортикаль-

ные интернейроны, которые формируют фазные обратные отрицательные связи на уровне коры. Их мишенью являются эффекторные ноцицептивные нейроны, воздействуя на которые, они в фазной форме в соответствии с интенсивностью пришедшего афферентного сигнала вызывают гиперполяризацию их мембранного потенциала, демпфируя (уменьшая) таким образом степень болевого ощущения.

Таким образом, на пути спинальных ноцицептивных афферентных сигналов, равно как и других модальностей, начиная от рецепторов вплоть до кортикальных нейронов, прослеживается три основных уровня фазных обратных отрицательных связей: в желатинозной субстанции, зрительных буграх и коре.

Различие ноцицепторов и кортикальных ноцицептивных нейронов по их пороговой чувствительности, естественно, должно сопровождаться и своими дифференцированными проводящими путями, связанными с ними. При этом грубые по пороговой чувствительности рецепторы, формирующие быстрофазные афферентные послышки, сопряжены с толстыми афферентными волокнами, а более чувствительные — с тонкими. Кортикальные ноцицептивные нейроны, как эффекторные аппараты со своей эффекторной трансформирующей функцией, в соответствии с ДРП должны иннервироваться двумя афферентными проводниками: холинергическим (соматическим) для нейронов с грубой пороговой чувствительностью и парасимпатическим — для более чувствительных нейронов и адренергическим. Физиологический смысл ДРП, как показано ранее [6, 7], заключается в формировании текущего тонуса, адекватного уровням внешней и внутренней стимуляции, воздействующей на зоны РФ. Отсюда следует, что возбуждение кортикальных нейронов афферентными сигналами всегда происходит на фоне того или иного их тонуса, создаваемого активизирующими сигналами зон РФ в рамках ДРП [6, 9]. При этом для быстрофазных (соматических) кортикальных ноцицептивных нейронов ( $\text{ЭК}_{\text{акн}}$ ) и медленнофазных (парасимпатических) ( $\text{ЭК}_{\text{ркн}}$ ) тандемы активизирующих сигналов в рамках ДРП представлены в виде  $J_{\text{эп}} : J_{\text{эв}}$  и  $J_{\text{эз}} : J_{\text{эв}}$ .

Поскольку эти активизирующие сигналы, особенно сигнал  $J_{\text{эв}}$  зоны РФ, определяются энергетическим потенциалом их зон и, в частности, микрозон, т. е. имеет место зависимость:  $J_{\text{эв}} = kE_{\text{в}}$ , то с учетом уравнения (1) становится понятной высокая переменность этого сигнала, а значит, и тонуса кортикальных нейронов. Принимая во внимание зависимость процесса трансформации афферентного сигнала в болевое ощущение от величины исходного тонуса ноцицептивных кортикальных нейронов, становится очевидной и переменность самого болевого ощущения. Вместе с тем ясно, что  $\text{ЭК}_{\text{акн}}$  формируют сильные болевые ощущения, а  $\text{ЭК}_{\text{ркн}}$  — слабые. Вероятно, среди каждого из этих типов нейронов существует своя дифференциация, особенно среди  $\text{ЭК}_{\text{ркн}}$ ,

что должно проявляться на изменении тональности болевого ощущения. Так, висцеральная боль, связанная с патологическими процессами внутренних органов, на начальной стадии развития патологического очага в большинстве случаев индивидом почти не ощущается. И лишь с его развитием возникают заметные болевые ощущения. Хотя известны и такие случаи, при которых далеко зашедшие патологические процессы не сопровождаются сильными болями [1].

Изменение болевого ощущения в зависимости от тонуса кортикальных ноцицептивных нейронов четко прослеживается при переходе от состояния бодрствования, сопровождающегося активной стимуляцией зон РФ, ко сну, когда поток стимуляционных афферентных сигналов резко прерывается, то есть ослабляется. Именно ночью, когда начинают функционировать преимущественно высокочувствительные ЭК<sub>эки</sub>, болевые ощущения заметно обостряются [1].

В то же время сам эффект стимуляции ноцицептивными афферентными сигналами зон РФ четко обнаруживается на изменении поведения различных эффекторных аппаратов, как соматического, так и парасимпатического вида. Так результаты наших экспериментальных исследований, полученные при регистрации мигательных движений глаз под влиянием болевой стимуляции, убеждают, что характер их резко изменяется. При этом заметно увеличивается частота миганий, их амплитуда и уменьшаются по времени фазы смыкания и размыкания век (рис. 4). Учитывая, что произвольные мигательные рефлексы генерируются аутохтонными фазными центрами (ФЦГ<sub>ам</sub>) зоны РФ<sub>атв</sub>, локализованными в области Варолиева моста, можно предположить, что ноцицептивная афферентация, вызываемая в эксперименте путем нагрева или охлаждения руки или механическим воздействием на ладонь руки путем щипка, стимулирует прежде всего зону РФ<sub>а</sub>. Афферентные быстрофазные посылки ФЦГ<sub>ам</sub>, в свою очередь, воздействуют на быстрофазные мышечные волокна круговой мышцы.

Исходя из изложенного, быстрофазная ноцицептивная афферентация стимулирует не только зону РФ<sub>а</sub>, но и другие зоны РФ, в частности зону РФ<sub>в</sub> и ее подзону РФ<sub>вс</sub>, о чем свидетельствует расширение зрачка при сильном болевом ощущении.

Имея в виду, что под активирующим контролем зон РФ в рамках ДРП находятся все эффекторные аппараты организма, логично допустить, что изменение энергетического потенциала зон РФ под влиянием афферентных сигналов и, в частности, спонтанно вызванных ноцицептивных, как это было сделано в нашем эксперименте, должно приводить к изменению режимов регуляции всех функциональных систем. В нашем случае они проявляются в форме переходного процесса их режима регуляции. Понятие, что характер изменения переходных процессов в функциональных системах под влиянием воздействия ноцицептивных сигналов будет определяться многими факторами, но в первую оче-

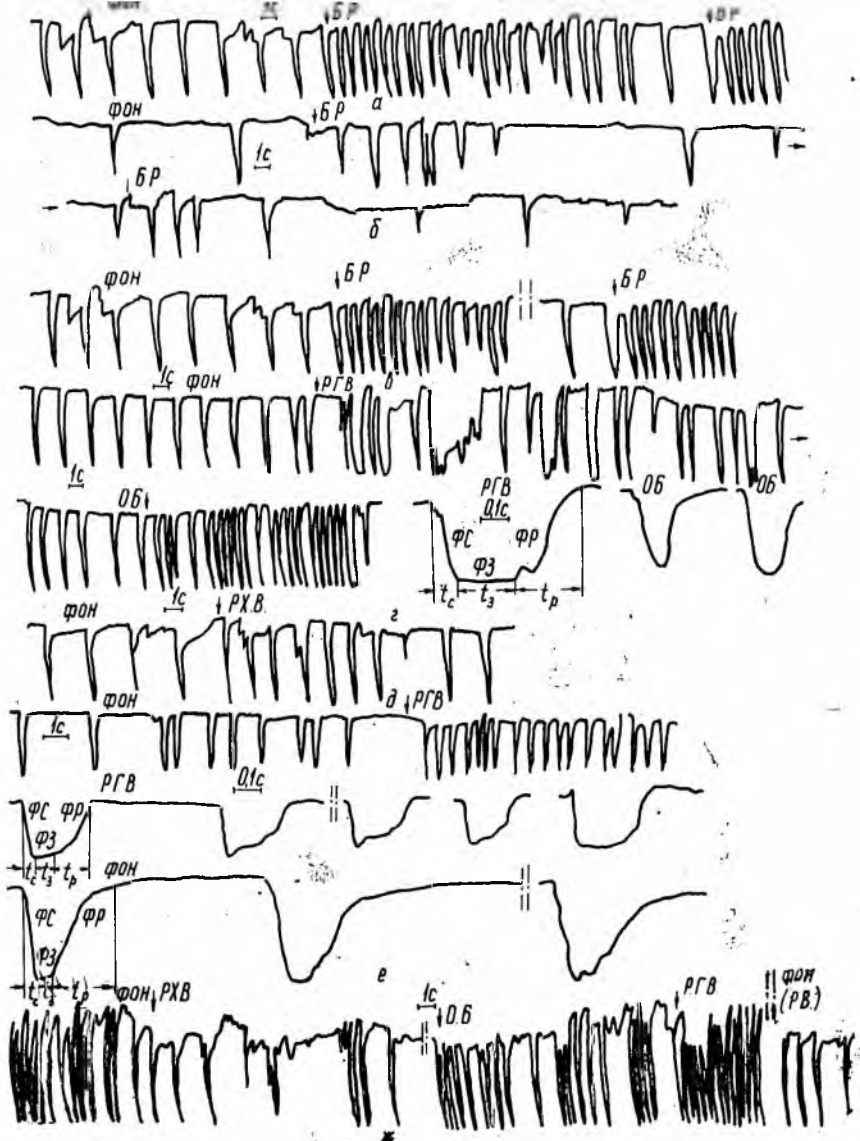


Рис. 3. Изменения мигательных движений глаз при воздействии болевой стимуляции разного вида:

а-б — при болевой стимуляции в форме щипка руки для разных испытуемых; в — при опускании руки в горячую воду (температура воды 50–55°С) в последующем ощущением боли в момент, отмеченный на записи стрелкой ОБ; д — при опускании руки в холодную воду (температура воды 5–8°С); е — при опускании руки в горячую воду для другого испытуемого; ж — при переменной стимуляции в форме первоначального опускания руки в холодную, а затем горячую воду и последующем вынимании руки из воды. Фон — запись три расслабленном состоянии, БР — момент нанесения болевого раздражения, РГВ и РХВ — моменты опускания и нахождения руки (правой) в горячей и холодной воде, фон (РВ) — рука вынута из воды. Записи сделаны при разных скоростях развертки регистрирующего устройства, позволяющих фиксировать трансформацию фаз мигательных движений (смыкания и размыкания век) при стимуляции относительно фоновой записи, ФС, ФВ, ФР — соответственно фазы смыкания закрытия и раскрытия век

редь их интенсивностью и длительностью по времени. Рассмотренные выше изменения в поведении двух совершенно разных эффекторных аппаратов разумеется, являются лишь частью тех общих изменений, которыми сопровождаются все функциональные системы организма.

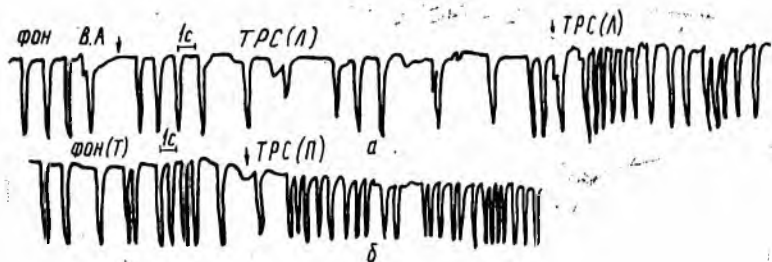


Рис. 4. Изменения мигательных движений при тактильных раздражениях (движении гребенки по ладони руки с разной силой нажатия): ТРС (Л) — слабое, а ТРС(Л) — сильное раздражение левой ладони, ТРС(П) — правой ладони

Среди широкого спектра болевых ощущений большинство связано непосредственно с эффекторами мышечного типа. Но этот вопрос будет рассмотрен в следующем сообщении.

**Список литературы:** 1. Кассиль Г. Н. Наука о боли. М., 1975. 396 с. 2. Анохин П. К., Орлов В. И., Ерохина Л. Г. Боль. БМЭ. М., 1976. Т. 3. С. 294—298. 3. Melzak R. The puzzle of pain. Australia. 1973. 4. Самотокин Б. Спинальный мозг. БМЭ. М., 1963. Т. 31. С. 10—77. 5. Спинальный мозг/Д. К. Богородинский, А. А. Скоромец, Е. И. Бабиченко и др.//БМЭ. М., 1985. Т. 24. С. 107—129. 6. Ананин В. Ф. Структурная организация центральной нервной системы и ее роль в регуляции сердечно-сосудистой системы. Сообщ. 6.//Пробл. бионики. 1986. Вып. 37. С. 36—47. 7. Ананин В. Ф. Моделирование регуляции аккомодационного аппарата глаза//Физиология человека. 1988. 14. С. 569—576. 8. Росси Д. Ф., Цанкетти А. Ретикулярная формация ствола мозга. М., 1960. 263 с. 9. Ананин В. Ф., Вельховер Е. С. О роли ретикулярной формации в регуляции сердечно-сосудистой системы. Сообщ. 4.//Пробл. бионики. 1984. Вып. 33. С. 108—120.

Поступила (в редколлегию 20.01.90

УДК 62.506.2.

В. Ф. АНАНИН, канд. техн. наук

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА БОЛИ. Сообщение 2.

Боль мышечного типа широко распространена и занимает одно из доминирующих положений среди других видов болей. На примере мышечного эффектора рассмотрим механизм возникновения мышечной боли. Мышца, по данным [1], не обладает болевой чувствительностью, скажем, при уколе, разрезе и других механических воздействиях, тем не менее мышечная боль существует

и индивид испытывает ее довольно часто и ощутимо, так при судорожных сокращениях мышцы, ее спазмах (боль острая мучительная) и при чрезмерном ослаблении ее тонуса, когда она растягивается, увеличиваясь в длине. В то же время мышечные боли возникают вследствие недостаточного снабжения ее кровью по тем или иным причинам. С другой стороны, сосудистая система, питающая кровью мышцу, имеет свои мышечные волокна в стенках сосудов, которые также могут спазмироваться или чрезмерно растягиваться, вызывая болевое ощущение.

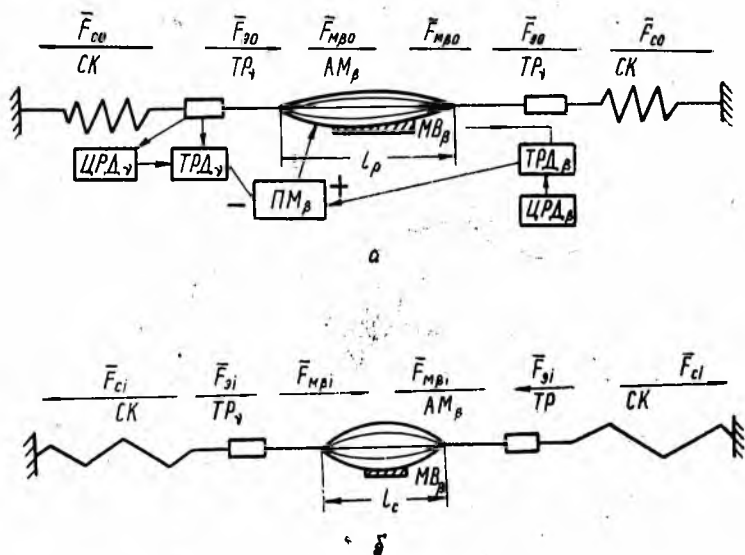


Рис. 1. Схема биомеханического равновесия мышечных волокон гладких мышц: ТР<sub>γ</sub> — тензорецепторы, МВ<sub>β</sub> — мышечные веретена, АМ<sub>β</sub> — мышца, ТРД<sub>γ</sub>, ТРД<sub>β</sub>, ЦРД<sub>γ</sub>, ЦРД<sub>β</sub> — терминальные и центральные рефлекторные дуги адренергического и холинергического вида ПМ<sub>β</sub> — постсинаптическая мембрана эффекторной клетки АМ<sub>β</sub>, СК — сухожильные окончания (упругие элементы стро-  
мы),  $\bar{F}_{c\alpha}$ ,  $\bar{F}_{\beta}$ ,  $\bar{F}_{M\beta}$  — вектора сил, формируемых сухожильными окончаниями, эластическими и мышечными волокнами АМ<sub>β</sub>,  $l_p$  и  $l_c$  — длина мышечных волокон при расслаблении и сокращении АМ<sub>β</sub>. Знаки + и - означают деполаризацию и гиперполяризацию мембранного потенциала ПМ<sub>β</sub>

Таким образом, при анализе причины происхождения мышечной боли создается впечатление, что она связана с нарушением биомеханики мышечного аппарата и, как следствие этого, чрезмерным возбуждением ее рецепторного аппарата. Согласно нашим исследованиям [2, 3], биомеханика мышечного аппарата может быть представлена в виде схемы, поясняющей взаимодействие всех ее компонентов, включая и рецепторный аппарат, являющийся источником формирования мышечной боли (рис. 1). Рассмотрим конкретные механизмы возникновения мышечной боли, в частности на примере гладкой мышцы. В соответствии

с двойным реципрокным принципом иннервации и регуляции (ДРП) чрезмерное усиление тонуса мышечных волокон, т. е. их спазмирование, при котором, как подтверждают экспериментальные и клинические данные [1], возникают болевые ощущения, возможно только при нарушении баланса между холинергической и адренергической составляющими в сторону усиления первой. В этом случае при сильном сокращении мышечных волокон, как это видно из схемы, происходит резкое растяжение тензорецепторов. В результате с них возникает афферентный сигнал, который оказывает стимулирующее воздействие на зону  $РФ_{\nu}$ , приводя через нее к болевому ощущению. (Механизм передачи болевого ощущения через  $РФ_{\nu}$  рассмотрен ниже). И наоборот, при чрезмерном ослаблении тонуса мышечных волокон по той или иной причине они растягиваются, а с мышечных веретен возникает афферентный сигнал большой силы, оказывающий стимулирующее воздействие на зоны  $РФ_{\delta}$  и  $РФ_{\nu}$ , вызывая через них болевое ощущение. Понятно, что в обоих случаях, несмотря на одно и то же болевое ощущение, причина его появления различная. Все это резко затрудняет дифференцированную оценку причины формирования боли.

Вместе с тем из клинической практики известно, что механические и электрические воздействия на шейную симпатическую цепочку во время операций на людях приводят к возникновению резких болей генерализованного характера: пациент отмечает их появление в разных органах [1]. Так, при раздражении верхнего шейного узла болевые ощущения возникают в зубах, нижней челюсти, ухе, а звездчатого узла — в плечевом поясе и в спине, в области сердца. С другой стороны, П. К. Анохин и другие [4], исходя из исследований с аминазином и адреналином, пришли к выводу, что «реакция активации коры больших полушарий головного мозга, возникающая при ноцицептивном раздражении, формируется при участии адренергического субстрата ретикулярной формации». Хотя ряд авторов [1, 4] и связывают возникновение болевых ощущений с симпатической нервной системой, до сих пор не предложены конкретные механизмы ее реализации через адренергическую составляющую. Если считать, что раздражение симпатической цепочки усиливает ее активирующий сигнал в адрес эффектора в рамках адренергической составляющей его ДРП, то сдвиг происходит в сторону усиления именно этой составляющей. По отношению к мышечным эффекторам подобный сдвиг, согласно схеме биомеханического равновесия, должен привести к резкому ослаблению тонуса мышечных волокон и, как следствие этого — натяжению их сухожильными окончаниями. В этом случае с мышечных веретен возникает афферентный сигнал большой интенсивности, который, воздействуя на зоны  $РФ_{\delta}$  и  $РФ_{\nu}$ , приводит к болевому ощущению. Иначе говоря, связь болевого ощущения с симпатической нервной системой автор усматривает в том, что любые раздражения последней должны приводить к сдвигу в ДРП кортикальных ноцицептивных нейро-

Нов, как, впрочем, и других эффекторных аппаратов, в сторону усиления их адренергической составляющей.

Остается ответить на вопрос: каким образом этот сдвиг отражается на обострении болевого ощущения? Это, пожалуй, один из самых сложных вопросов, так как необходимо иметь четкие представления о самой сути двойной иннервации и, прежде всего, о механизмах ее регуляции на нейронном уровне, а также о тех изменениях, которые происходят с ноцицептивными кортикальными и другими эффекторными нейронами при сдвиге в их ДРП в сторону усиления адренергической составляющей. Не углубляясь в более интимные процессы, происходящие при этом сдвиге на нейронном уровне эффекторных аппаратов ввиду их исключительной сложности, попытаемся представить те внешние изменения, которыми сопровождается поведение эффектора в данном случае. Наиболее наглядно их можно проследить на примере именно мышечного эффектора. При этом сдвиге происходит расслабление тонуса мышечных волокон и, как следствие этого, — дополнительное их растяжение сухожильными окончаниями, в результате чего мышца становится длиннее. В то же время по закону Старлинга с увеличением длины мышечных волокон возрастает амплитуда ( $A_m$ ) их сокращения. В общем виде этот закон упрощенно можно представить следующей зависимостью:  $A_m = J_{\alpha\beta} l_m$ , где  $J_{\alpha\beta}$  и  $l_m$  — соответственно управляющий сигнал по холинергическому каналу ДРП мышцы, длина мышцы.

Так, собственно, проявляется внешне изменение в поведении мышцы при сдвиге ее ДРП в сторону усиления адренергической составляющей. Кстати, наиболее наглядно это обнаруживается в эффекте Орбели-Гинецинского, где при неизменной силе возбуждения по холинергическому каналу ДРП экспериментальной мышцы усиление сигнала по адренергическому каналу, сопровождающееся временным сдвигом в сторону превалирования ее адренергической составляющей над холинергической, приводит к заметному возрастанию амплитуды сокращения мышцы. С учетом приведенной выше зависимости в опытах Гинецинского управляющий сигнал  $J_{\alpha\beta}$  не менялся, а изменялось лишь значение  $l_m$  под влиянием переменной импульсации по симпатическому каналу ДРП мышцы, которым он управлял. Указанный феномен будет еще более понятным, если ввести термин пороговой чувствительности мышцы, представленный зависимостью  $S_m = \frac{\Delta A_m}{\Delta J_{\alpha\beta}}$ .

Иначе говоря, пороговая чувствительность мышцы — приращение амплитуды ее сокращения на одну и ту же величину изменения управляющего сигнала. В опытах Гинецинского управляющий сигнал  $J_{\alpha\beta}$  оставался постоянным, а приращение  $\Delta A_m$  амплитуды сокращения при стимуляции симпатического канала заметно возрастало. Феномен Орбели—Гинецинского, как известно, был обнаружен на эффекторах соматического типа — скелетных мышцах. Аналогичная ситуация наблюдается и на эффекторах парасим-

патического типа, т. е. гладких мышцах. В качестве примера приведем данные о сфинктере радужной оболочки глаза, который заметно расслабляется при усилении адренергической составляющей его ДРП. Внешне это проявляется в расширении зрачка. Надо полагать, что удлинение мышечных волокон разного типа

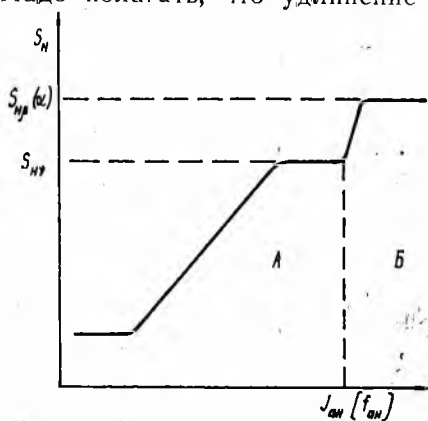


Рис. 2. Динамическая характеристика ноцицептивной аналитической системы: По горизонтальной оси — афферентный ноцицептивный сигнал  $J_{ан}$  или частота его нервных посылок  $f_{ан}$ . Зоны А и Б соответствуют тонической и фазной формам болевого ощущения. По вертикальной оси — сила болевого ощущения

под влиянием сдвига их ДРП в сторону усиления адренергической составляющей является единой для них закономерностью.

Таким образом, сдвиг ДРП эффекторов мышечного типа в сторону усиления их адренергической составляющей сопровождается повышением их пороговой чувствительности к управляющему сигналу холинергического канала, однако эта зависимость сохраняется, видимо, в определенных границах и имеет вид кривой (рис. 2).

Ранее [5] показано, что основная функция адренергической составляющей ДРП эффекторных клеток связана с обеспечением адаптации организма, которая реализуется через изменение пороговой чувствительности рецепторных и эффекторных аппаратов. Оценивая роль симпатической нервной системы в повышении болевой чувствительности кортикальных нейронов, можно допустить, что с ростом порога ее усиливается эффект трансформации афферентных ноцицептивных сигналов в болевое ощущение. Более того, при их повышенной чувствительности болевое ощущение может возникать и при таких уровнях афферентных сигналов, при которых в случае более грубого порога чувствительности кортикальных ноцицептивных нейронов оно отсутствует. С другой стороны, при сокращении мышечных волокон усиливается афферентный сигнал с рецепторов адренергического канала и повышается тем самым стимуляция зоны РФ., что дополнительно способствует повышению ее энергетического потенциала. Именно в этом, по мнению автора, и проявляется механизм повышения болевой чувствительности под влиянием стимуляции симпатической нервной системы. Вместе с тем сдвиг в ДРП в сторону усиления адренергической составляющей может происходить не только за счет усиления по той или иной причине активности симпа-

тической нервной системы, но и при ослаблении активности холинергической составляющей. Например, спазм мышечных волокон, сопровождающийся болевым ощущением, может быть вызван либо усилением холинергической составляющей их ДРП, либо ослаблением адренергической составляющей. Но даже при первом варианте имеет место повышенное раздражение тензорецепторов, афферентный сигнал с которых стимулирует именно зону РФ.

И наконец, непосредственная связь боли с зоной РФ, проявляется при так называемом эффекте двойного ощущения боли. Суть последнего заключается в том, что боль, возникающая сразу после нанесения импульсного ноцицептивного раздражения в виде кратковременного сильного болевого ощущения, через 1—2 с становится более интенсивной, генерализованной и более длительно действующей. На наш взгляд, вторая фаза болевого ощущения является следствием приращения энергетического потенциала ( $\Delta E_v$ ) зоны РФ, после воздействия на нее импульсного ноцицептивного афферентного потока, вызвавшего первую фазу боли. Это последствие активирующих сигналов зоны РФ, связано, с одной стороны, с ее сетевидной нейронной организацией, а с другой — с наличием связей между самими подзонами ретикулярной формации головного и спинного мозга. Именно сетевидная структура РФ позволяет при импульсной стимуляции ее афферентным потоком сохранять длительное время возбужденное состояние с превышением энергетического потенциала относительно его исходного уровня до стимуляции.

Понятно, что с приращением  $\Delta E_v$  повышается активизирующая функция зоны РФ, по адренергическим каналам ДРП эффекторов, в том числе и кортикальных ноцицептивных нейронов, что, как отмечалось выше, приводит к повышению их пороговой чувствительности и, как следствие этого — к обострению болевого ощущения. Сохранение в течение некоторого времени превышения энергетического потенциала  $E_v$  зоны РФ, обусловленное иннерционными процессами из-за ее сетевидной структуры, и является, с точки зрения автора, причиной второй фазы «двойного ощущения боли».

Надо полагать, что обострение болевых ощущений через изменение  $E_v$  зоны РФ, происходит, видимо, при относительно резких перепадах ее энергетического потенциала. Когда же его изменения незначительные, то участие этой зоны в повышении болевой чувствительности практически незаметно. Более того, при слабых изменениях  $\Delta E_v$  в рамках контуров саморегуляции, рассматриваемых ниже, происходит коррекция болевого ощущения в сторону его затухания. Конкретные механизмы этой коррекции анализируются ниже на примере развития патологического очага.

Рассмотрим механизм возникновения другого вида боли, который принципиально отличается от мышечной боли и связан с патологическим процессом. Этот вид боли разыгрывается совершенно по иному сценарию, хотя конечный эффект его опять-таки

направлен на стимуляцию зоны РФ, со всеми вытекающими отсюда последствиями, подробно проанализированными выше. Априори примем, что любой начинающийся патологический процесс должен сопровождаться возникновением ноцицептивных афферентных сигналов, оказывающих стимулирующее воздействие на зоны РФ. При этом слабые, тонические сигналы  $J_{ан}$  первоначально стимулируют преимущественно зону РФ, поддерживая тем самым ее повышенный энергетический потенциал  $E_{\nu}$ . Если эта стимуляция ограничивается рамками той или иной микрозоны РФ, с которой сопряжен рецепторный аппарат заболеваемого органа, то приращение энергетического потенциала  $\Delta E_{\nu}$  распространяется, главным образом, на эту микрозону. В соответствии с этим приращением энергетического потенциала адекватным образом возрастает ее активирующая функция по адренергическому каналу в адрес заболеваемого органа. Создается как бы локальный саморегулируемый процесс между заболеваемым органом и микрозоной мРФ, под активирующим контролем которой в рамках адренергического канала ДРП он находится. Если сравнить зоны РФ с биоэнергетическими узлами, обеспечивающими через активирующие сигналы своих микрозон РФ эффекторные аппараты заряжающей их энергией, эффект действия которой проявляется в изменении их тонуса, активности метаболизма и др., то заболеваемый орган через свои ноцицептивные рецепторные аппараты путем усиления с их выхода афферентных сигналов как бы «запрашивает» от своей мРФ, дополнительной энергии для погашения начавшегося в нем патологического процесса. При этом запрашиваемая органом дополнительная энергия со стороны своей мРФ, в свой адрес провоцируется им же самими через усиление ноцицептивной афферентации со своих ноцицепторов, что и позволяет рассматривать этот процесс как саморегулируемый, направленный на «погашение» только начинающего «пламенеть» патологического очага. Поэтому ноцицептивные афферентные сигналы можно назвать не только и не столько индикаторами зарождающегося патологического очага, сколько управляющими сигналами в контурах саморегуляции, ориентированными на его ликвидацию. Первоначально эти контуры саморегуляции реализуются через терминальные рефлекторные дуги адренергического вида, замыкающиеся на уровне адренергических нервных сплетений, экстрамуральных ганглиев. По мере развития патологического процесса, сопровождающегося нарастанием активности ноцицептивных афферентных сигналов, подключаются центральные, более мощные в энергетическом отношении рефлекторные дуги адренергического типа, замыкающиеся через подзоны РФ, локализованные в головном и спинном мозге. В последнем случае патологический орган через свою ноцицептивную афферентацию «обращается» как бы с запросом уже на более высокий уровень — к зонам РФ и, в частности, к своей микрозоне (мРФ, зоны РФ), с целью усилить активирующий сигнал  $J_{\nu}$  в его адрес. Более того, своими же ноцицептивными

сигналами, как указано выше, он одновременно стимулирует сопряженную с ним мРФ, повышая ее энергетический потенциал, за счет чего, собственно, и удовлетворяется его повышенный запрос к ней. В этом и заключается физиологический смысл саморегуляции органов, реализуемый через повышение энергетического потенциала микрозон РФ, сопряженных с патологическим органом.

Таким образом, процесс саморегуляции, направленный на затухание патологического процесса, на его ранней стадии осуществляется главным образом через адренергическую составляющую ДРП этого органа: именно рецепторы адренергического вида, афферентные сигналы с которых стимулируют зону РФ, возбуждаются в первую очередь в начале формирования патологического процесса. Заметим, что механизм воздействия усиленного активирующего сигнала на патологический очаг органа и затухание патологического процесса на биохимическом и биофизическом уровнях не рассматривается.

И наконец, исследуя механизм боли, необходимо отметить роль такого ее феномена, как «эхо-боли», проявляющегося в виде зон Захарьина-Геда и др. Пожалуй, это один из наиболее сложных физиологических механизмов, не раскрытый до настоящего времени, хотя сам феномен был обнаружен более ста лет. Вместе с тем на его основе широко проводится в клинической практике дифференциальная диагностика, а точнее — обнаружение патологических процессов, происходящих в различных внутренних органах. В данном случае феномен «эхо-боли» служит как бы дополнительным инструментом в практике постановки диагноза и при этом на уровне начальной стадии зарождающегося патологического очага в том или ином органе, участке организма. Нам представляется, что проявляется этот феномен не только в виде зон Захарьина—Геда, но и в изменении активности акупунктурных точек, экстерорецептивных аппаратов и элементов радужной оболочки глаза, уха и др. Иначе говоря, данный феномен является физиологической основой методов распознавания болезней, основанных на сигнальной функции экстерорецептивных зон организма, как бы их общим корнем, поэтому исследование его механизма представляет не только теоретический интерес, но и практический. Попытаемся разобраться в механизме возникновения феномена «эхо-боли», как показывает предварительный анализ, раскрытие его помогает понять природу самой боли.

С учетом интегративной функции зоны РФ, логично допустить, что каждая из ее микрозон своим активирующим сигналом  $I_{эв}$  «обслуживает» группу эффекторных аппаратов в рамках ДРП, где их адренергическая составляющая является для них как бы общим знаменателем. Поэтому изменение активирующего сигнала  $I_{эв}$  в адрес патологического органа в рамках указанного выше контура саморегуляции одновременно будет сопровождаться изменением этого же активирующего сигнала в адрес других эффекторных аппаратов, сопряженных через адренергическую составляю-

щую своих ДРП с общей для них микрозоной мРФ, зоны РФ, (Сообщение 1) (рис. 2). Иначе говоря, генерируемый мРФ, по законам аутохтонной активности ее ретикулярными нейронами активирующий сигнал  $I_{э\text{вм}}$  далее распределяется по адренергическим каналам ДРП в адрес группы эффекторных аппаратов, сопряженных с ней в виде ряда сигналов  $I_{э\text{в}i} - I_{э\text{в}i}$ . Причем  $I_{э\text{в}i} = \sum_{i=1}^m I_{э\text{в}i}$ , где  $m$  — число эффекторных аппаратов, сопряженных с мРФ. В свою очередь,  $I_{э\text{в}i} = k e_{\text{в}i}$ , где  $e_{\text{в}i}$  — энергетический потенциал мРФ. Приращение энергетического потенциала  $e_{\text{в}}$  на  $\Delta e_{\text{в}}$  за счет стимуляции мРФ, афферентными сигналами, сопряженными с ней, в том числе и ноцицептивными с патологического очага, приводит к возрастанию сигнала на  $\Delta I_{э\text{в}i}$  т. е.

$$I'_{э\text{в}i} = I_{э\text{в}i} + \Delta I_{э\text{в}i} = k \cdot (e_{\text{в}i} + \Delta e_{\text{в}i}).$$

Из приведенных зависимостей понятно, что приращение  $\Delta I_{э\text{в}i}$  под влиянием стимуляции мРФ, ноцицептивными сигналами с патологического очага отразится одновременно на увеличении активирующего сигнала по адренергическому каналу не только в адрес патологического органа, но и в адрес « $m$ » эффекторных аппаратов, также по адренергическому каналу их ДРП, сопряженных с мРФ. Последнее неизбежно должно привести к изменению характера поведения всей группы « $m$ » эффекторов, которое, разумеется, может быть неоднозначным для каждого из них в силу их специфических особенностей.

Логично допустить, что начальная стадия патологического процесса должна сопровождаться небольшими изменениями  $\Delta I_{э\text{в}i}$  мРФ, которые могут быть обнаружены лишь на очень высокочувствительных эффекторных аппаратах, органах, управляемых небольшими по энергетическому потенциалу афферентными импульсными посылками активирующих сигналов мРФ. К ним могут быть отнесены, в частности, эффекторы радужной оболочки в виде ее мышечных волокон сфинктера, сосудов, пигментных клеток; интрафузальные мышечные волокна мышечных веретен отдельных гладких мышц; отдельные рецепторные аппараты вегетативной нервной системы и др. Среди них особый интерес представляют эффекторы радужной оболочки глаза, так как они, с одной стороны, являются наиболее чувствительными эффекторными аппаратами, а с другой — доступны визуальному наблюдению. Дифференцируя ее эффекторы по пороговой чувствительности к восприятию наименьшего значения  $\Delta I_{э\text{в}i}$ , отметим, что наибольшей чувствительностью обладают, вероятно, пигментные клетки, затем мышечные элементы микрососудов радужки и только после них сфинктер. Подобная дифференциация эффекторов радужки имеет непосредственное отношение к ранней постановке диагноза патологического очага того или иного участка организма в рамках ириодиагностического метода. Так, чтобы выявить раннюю форму патологии органа, эффекторы которого входят в группу

«т» связанных между собой общей для них мРФ, куда входят и эффекторы радужки, необходимо наблюдать прежде всего за изменением пигментной системы ириса. Последние могут иметь разную форму [6]. Более грубые патологические процессы отражаются уже и на поведении самого сфинктера, о чем убедительно свидетельствуют результаты клинических исследований [6]. Однако, отражаясь на поведении сфинктера, они могут быть совершенно незаметными на поведении эффекторов с более грубой пороговой чувствительностью, хотя и имеют общую связь с ним через мРФ. На сфинктере эти изменения проявляются, с одной стороны, в изменении диаметра зрачка и, в частности, его увеличении, а с другой — и это самое главное — в изменении формы зрачка. Учитывая секторную конструкцию радужной оболочки и ее сфинктера и имея в виду дифференцированную иннервацию каждого из секторов своими веточками симпатических нервных проводников, исходящих из разных микрозон подзоны РФ<sub>с</sub>, локализованной в боковых рогах спинного мозга, можно заключить, что активирующие сигналы разных мРФ, направленные соответственно по своим симпатическим нервным цепочкам и к своим секторам радужки, неоднозначны по величине. Именно это обстоятельство приводит к деформации внутренней каймы радужки, т. е. зрачка. Понятно, что патологический процесс того или иного органа соответственно через свою мРФ, с которой связан один из секторов радужки, отразится в изменении формы именно этого сектора, что внешне проявляется в расширении диаметра зрачка по этому сектору. И наоборот, проявление патологического процесса другого органа отразится на деформации связанного с ним через мРФ, его сектора радужки. В норме, когда активирующие сигналы с микрозон зоны РФ<sub>с</sub> в адрес своих секторов радужки в рамках их ДРП, равно как и сигналы по их холинергическим каналам, берущим начало из ретикулярной формации среднего мозга (РФ<sub>βм</sub>), относительно одинаковы для каждого сектора, зрачок принимает правильную круглую форму.

На радужной оболочке глаза представлены разные виды эффекторов, каждый из которых иннервируется своей двойной иннервацией, в которой его адренергическая составляющая, в свою очередь, иннервируется из разных микрозон спинальной адренергической зоны ретикулярной формации, локализованной в боковых рогах спинного мозга. Отсюда следует, что адренергическая иннервация эффекторных аппаратов ириса представлена целым рядом относительно автономных микрозон зоны РФ<sub>с</sub>. Более того, при секторной организации каждый из секторов радужки (около 70—80) [7] и размещенных в них части разных эффекторных аппаратов иннервируются соответственно своими веточками двойной реципрокной иннервации и регуляции, в том числе адренергическими веточками от разных мРФ. Значит, число микрозон зоны РФ<sub>с</sub>, участвующих в адренергической иннервации ириса, должно быть достаточно большим. Можно допустить,

что с радужкой глаза сопряжено наибольшее число мРФ, зоны РФ, в сравнении с каким-либо другим органом или участком организма. Принимая во внимание, что каждая микрizona зоны РФ<sub>с</sub> «обслуживает» по части адренергической иннервации и активации в рамках ДРП свою группу эффекторов, становится понятным, с одной стороны, механизм топографической проекции органов на радужную оболочку, а с другой — физиологический смысл клинической иридодиагностики [6]. Зоны Захарьина—Геда, как, впрочем, и другие рефлексонные зоны, например уха, по принципу отражения ноцицептивной афферентации ничем не отличаются от ириса, на которых происходит отражение «эхо-боли». Специфическая особенность ириса заключается в том, что его площадь в сравнении с другими проекционными зонами несравнимо меньше, поэтому проекция органов на ее поверхность представляется более концентрированной, а значит, и более ярко выраженной. Тем более, что ее диагностические и проекционные информативные признаки имеют ярко выраженную окраску. Все это, вместе взятое, и позволяет более эффективно использовать радужку при выявлении «эхо-болей» и сопровождающих их патологических процессов. Во время как на коже с ее большой площадью проекции органов рассредоточены, а перечень информативных знаков меньше. Аналогичная ситуация проявляется и с рефлексогенной зоной уха.

Теперь важно оценить, хотя бы на начальной стадии развития патологического процесса, характер изменения поведения сопряженных с патологическим органом эффекторных аппаратов под влиянием повышения активирующей функции мРФ, т. е. сигнала  $I_{ЭМ}$  на  $\Delta I_{ЭМ}$ . Ясно, что эти изменения будут определяться их специфическими функциональными особенностями. Так, для того же ириса изменения на сфинктере будут проявляться в ослаблении тонуса мышечных элементов его секторов и, как следствие этого — увеличении диаметра зрачка на этом участке сектора, а вместе с ним деформации круглой формы зрачка. На микрососудах — в уменьшении тонуса их мышечных волокон и возрастании степени вазоконстрикции сосудов ириса, на пигментной системе — в форме усиления или ослабления локальной пигментации. В зонах Захарьина—Геда со своими эффекторными и богато представленными рецепторными аппаратами разной модальности эти внешние проявления под влиянием приращения  $\Delta I_{ЭМ}$  особенно наглядно обнаруживаются на изменении пороговой чувствительности последних. Так называемые акупунктурные точки на поверхности кожи и других участков — это не что иное, как ее зоны, в которых действие приращения сигнала  $I_{ЭМ}$  на  $\Delta I_{ЭМ}$  обнаруживается более заметно, в виде повышения пороговой чувствительности рецепторов, размещенных в ее зоне. Именно рецепторы кожи являются наиболее тонкими ее индикаторами, фиксирующими малейшие изменения  $\Delta I_{ЭМ}$ , в рамках их ДРП. Несмотря на то, что рецепторы кожи распределены неравномерно по ее площади, тем не менее проекции ноцицептивных аффе-

рентных сигналов и связанные с ними повышения активирующих сигналов в адрес рецепторных аппаратов кожи концентрированы отражаются главным образом лишь на отдельных ее зонах, где имеет место повышенная концентрация рецепторов. Акупунктурные точки как раз и представляют собой зоны кожи с повышенной концентрацией рецепторных аппаратов разной модальности. Понятно, что в этом случае на этот участок кожи будет поступать по адренергическим каналам ДРП рецепторов большая часть сигнала  $I_{э.м}$  с его добавкой  $\Delta I_{э.м}$ . Напомним, что под двойным реципрокным контролем находятся не только эффекторные, но и рецепторные аппараты. При этом в первом случае он осуществляет контроль их исходного тонуса и управление ими, а во втором — направлен на регуляцию пороговой чувствительности рецепторов. Причем с ростом активирующего сигнала  $I_{э.м}$  адренергического канала ДРП рецепторов, в частности интрафузальных мышечных веретен, повышается их пороговая чувствительность, т. е. они становятся более чувствительными к малейшему изменению тонуса мышечных волокон.

Таким образом, возрастание пороговой чувствительности рецепторных аппаратов, размещенных в акупунктурных точках, под влиянием приращения сигнала  $I_{э.м}$  на  $\Delta I_{э.м}$  обусловленного, в частности, болевой афферентацией, является их специфической формой отражения «эхо-боли». Получается так, что патологический очаг и рецепторные аппараты акупунктурной точки связаны между собой через общую для них мРФ<sub>v</sub> зоны РФ<sub>vс</sub>. Эта связь проявляется в том, что ноцицепторы патологического очага органа, стимулируя свою мРФ<sub>v</sub> с целью повышения ее активирующего сигнала  $I_{э.м}$  на  $\Delta I_{э.м}$  в его адрес, одновременно через ту же мРФ<sub>v</sub> усиливают стимуляцию и рецепторных аппаратов акупунктурной точки, повышая тем самым их пороговую чувствительность, в чем, собственно, и проявляется отражение на них «эхо-боли» патологического органа. Это как бы результат побочного действия ноцицептивных сигналов, воздействующих на мРФ<sub>v</sub>.

Но если такая жесткая рефлекторная связь существует между патологическим органом и сопряженными с ним акупунктурными точками на коже в виде, например, зон Захарьина—Геда, осуществляемая через общую для них мРФ<sub>v</sub> зоны РФ<sub>vс</sub>, в чем автор не сомневается, то тогда вполне закономерен следующий вопрос. Нельзя ли при появлении болевых ощущений с целью их компенсации осуществлять стимуляцию мРФ<sub>v</sub> зоны РФ<sub>vс</sub> не только со стороны ноцицепторов патологического очага органа, т. е. естественного саморегулируемого канала, порожденного самой природой в качестве одной из защитных мер самого организма, но и искусственно, со стороны акупунктурных точек кожи? Иначе говоря, реальна ли возможность целенаправленно и искусственно повышать энергетический потенциал мРФ<sub>v</sub> зоны РФ<sub>vс</sub>, к которой через свою ноцицептивную афферентацию «обращается» с запросом данный орган для повышения активирующего сигнала

ла  $I_3$ , в его адрес. Нельзя ли помочь его саморегулируемым рефлекторным дугам, о которых говорилось выше, искусственным путем, через стимуляцию афферентными сигналами других сенсорных модальностей, сопряженных с данной мРФ, повышая ее энергетический потенциал, являющийся своего рода «элексиром» для патологического очага. Многолетняя история клинической практики чжень-цзю терапии убедительно свидетельствует в пользу такой возможности. Собственно, сам механизм компенсации болевых ощущений под влиянием стимуляции адекватных акупунктурных точек, сопряженных с патологическим органом через общую для них мРФ, зоны РФ, связан, в конечном итоге, с повышением уровня ее энергетического потенциала. Именно в этом, с точки зрения автора, и заключается клинический эффект чжень-цзю терапии по ослаблению или в лучшем случае устранению болевых ощущений. Эта искусственная стимуляция мРФ, со стороны акупунктурных точек по стимуляционным возможностям, направленным на повышение уровня ее энергетического потенциала, существенно превышает возможности естественного канала саморегуляции со стороны ноцицепторов патологического очага, особенно на ранней стадии его развития. Вот почему так эффективна чжень-цзю терапия, особенно на ранней стадии развития патологического процесса, оказывающая целенаправленное лечебное воздействие на патологический очаг путем повышения уровня энергетического потенциала именно его мРФ, зоны РФ<sub>с</sub>. При этом укол иглы в акупунктурную точку возбуждает, в первую очередь, ее болевые рецепторы, афферентные сигналы с которых выполняют, видимо, доминирующую роль среди рецепторов другой модальности в подзрядке мРФ.

Таким образом, физиологическая и клиническая сущность чжень-цзю терапии по ослаблению и устранению болевых ощущений сводится, в конечном итоге, с одной стороны, к дифференциальной диагностике патологического очага, а с другой — стимуляции тех акупунктурных точек, которые сопряжены с патологическим органом через общую для них мРФ, зоны РФ<sub>с</sub>. При такой интерпретации сопряжение двух клинических методик — иридодиагностики и чжень-цзю терапии является естественной закономерностью в медицинском технологическом процессе, так как первая из них позволяет на ранней стадии обнаруживать патологический очаг, т. е. осуществлять раннюю дифференциальную диагностику, а вторая — проводить целенаправленный курс адекватного лечения с достаточно высокой эффективностью, особенно на ранней стадии. Понятно, что глубокие знания истинных топографических проекций органов на поверхность ириса, умение четко их дифференцировать на ней по иридопограммам и, наконец, знание связей акупунктурных точек со своими органами — все это, вместе взятое, является необходимым условием практической реализации медико-технологического процесса в виде объединения двух указанных выше клинических методик в единую технологическую цепь.

Надо полагать, что эффект снижения болевого ощущения под влиянием чжень-цзю терапии достигается не только за счет повышения уровня энергетического потенциала микрозоны мРФ, но и через усиление активности интернейронов желатинозной субстанции под влиянием афферентной импульсации с акупунктурных точек. Тем более в последних, судя по данным [8], имеет место повышенная концентрация рецепторов разной сенсорной модальности, в том числе и ноцицепторов, афферентные сигналы которых по своим коллатералям поступают на интернейроны желатинозной субстанции с их фазной обратной отрицательной связью по отношению к вставочным нейронам серого вещества задних рогов, на которые, в свою очередь, поступают афферентные сигналы после чувствительных нейронов, локализованных в спинномозговых узлах.

В связи с изложенным интересно представить механизм действия болеутоляющих лекарственных средств, в частности морфина. Клинической практикой установлено, что после подкожного введения морфина наступает характерное состояние успокоения, расслабления мускулатуры, временное исчезновение болевого ощущения. Вместе с тем он оказывает и возбуждающее действие обостряется восприятие внешних раздражений, что явно указывает на повышение пороговой чувствительности рецепторных аппаратов. Одни исследователи связывают противоболевое действие морфина с его воздействием на холинергические структуры мозга, повышая их активность. Другие, напротив, противоболевое действие морфина объясняют ослаблением холинергических систем головного мозга, сравнивая эффект его действия с атропином. Напомним, что действие 1 % раствора атропина на зрачок при закапывании в конъюнктивальный мешок приводит к сильному мидриазу зрачка. Последний становится совершенно неподвижным, не реагирует на свет, аккомодацию и конвергенцию. Принято считать, что мидриатическое действие атропина на зрачок связано с параличом концевых аппаратов коротких цилиарных нервов, а не на саму мышцу-сфинктер [9]. В то же время подмечено, что при недостатке в организме катехоламинов действие морфина резко ослабевает [1].

Если принять во внимание два наиболее характерных признака последствия морфина: расслабление мускулатуры и обострение восприятия внешних раздражений, то становится очевидным, что в ДРП эффекторных аппаратах, по крайней мере, мышечного типа и рецепторных аппаратах происходит сдвиг в сторону усиления адренергической составляющей. Создается впечатление, что этот сдвиг происходит не за счет усиления адренергической составляющей, а благодаря ослаблению холинергической составляющей. Иначе говоря, морфин действует на холинергический канал ДРП, ослабляя эффект его воздействия на постсинаптическую мембрану эффекторной клетки. Это ослабление может быть вызвано многими причинами, в том числе и усилением активности фермента холинэстеразы, расщепляющей ацетилхолин.

И в этом отношении по своему конечному эффекту действие морфина схоже с ядом кураре, блокирующим передачу возбуждения с двигательного нерва на мышцу. Механизм блокировки связан с конкурентным взаимоотношением кураре с ацетилхолином, в результате чего действие последнего на холинорецепторы блокируется и мышца расслабляется. Хотя морфин, видимо, не обладает столь резкой способностью блокировать функции синаптических передач холинергического канала ДРП. Ясно, что при ослаблении активности холинергического канала роль адренергического канала в ДРП должна заметно активироваться, но это возможно при условии, если активность этого канала достаточно высокая. В противном случае эффект снижения активности холинергического канала под влиянием морфина будет не так резко проявляться, что подтверждают клинические данные о слабости его действия при недостатке в организме катехоламинов.

**Список литературы:** 1. *Кассиль Г. Н.* Наука о боли. М., 1975. 396 с. 2. *Ананин В. Ф.* Механизмы регуляции вазоконстрикции и вазодилатации микрососудов//Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1987. № 12. С. 34—39. 3. *Куприянов В. В., Ананин В. Ф.* Биомеханика спирального расположения мышечных элементов сосудов и механизм ее регуляции при гемодинамике//Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1988. № 12. С. 27—34. 4. *Анохин П. К., Орлов В. И., Ерохина Л. Г.* Боль. БМЭ, 3-е изд. 1976. 3. С. 294—298. 5. *Анохин В. Ф.* О механизме происхождения электрокардиограммы и ее ритма. Сообщ. 8//Пробл. бионики. 1989. Вып. 43. С. 86—102. 6. *Ириодиагностика/Е. С. Вельховер, Н. Б. Шульпина, З. А. Алиева, Ф. Н. Ромашов//М., 1988. 240 с.* 7. *Münch K.* Über die muskulöse Natur des Stromazellnetzes der Uvea. *Augenheilk.* 1904. Bd. 12. S. 525—526. 8. *Табеева Д. М., Дурилян Д. А., Цибуляк В. Н.* Физиологические основы и клиническое применение рефлексотерапии. БМЭ, 3-е изд. 1988. 29. С. 260—266. 9. *Меркулов И. И.* Учение о зрачке//Вопр. нейроофтальмологии. X., 1961. 7. С. 5—86.

Поступила в редколлегию 01.03.90

УДК 663.4

К. С. ВАЦЬКОВСКИЙ, д-р экон. наук

## ОБ ОДНОЙ КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ БАНКА МЕТОДОВ

Одним из путей уменьшения образовавшегося пробела между оптимизационными моделями и практическим их использованием является создание и внедрение банка методов. Концепция построения банка методов базируется на идее создания системы организации и управления совокупностью методов и необходимых для их реализации данных. В предлагаемой концепции банка методов рассматриваются лишь те методы управления и оптимизационные модели, для которых можно создать машинные программы. При такой постановке проблемы термины *модель, метод, программа (симулятор)* можно считать синонимами.

В работах, рассматривающих применение оптимизационных моделей, часто указывается на необходимость разработки банка методов (БМ) в различных предметных областях. Однако большинство исследователей считают БМ «черным ящиком», поставляющим исследователю модели или даже готовые оптимальные решения.

С конца семидесятых годов стали появляться публикации о смежных по отношению к БМ проблемам, среди которых разработку имитационных систем [3, 4]; систем искусственного интеллекта [5]; специального математического обеспечения уравнения — СМ ОУ [2]; систем, помогающих принимать решения (англ. Decision Support System) [3, 6].

Таким образом, необходимость создания связующего звена между методами принятия решений, в том числе и оптимизационными, и лицом, принимающим решения (ЛПР), вызвала появление концепции банка методов. Можно сказать, что банк методов является интерфейсом между ЛПР и оптимизационными расчетами, обеспечивающими принятие рациональных управленческих решений.

Банк методов — система, включающая совокупность методов и моделей решения различных управленческих задач и средств управления этими задачами, поэтому в состав БМ входят: программная база (библиотека программ для решения конкретных управленческих задач); система управления банком методов (СУБМ) и программное обеспечение ЭВМ в той части, в которой оно необходимо для реализации задач БМ.

СУБМ состоит из следующих компонентов: язык описания моделей (ЯОМ), язык манипулирования моделями (ЯММ), паспорт банка методов.

ЯОМ является самостоятельным языком программирования, с помощью которого разрабатываются машинные программы (симуляторы), включаемые в состав основного программного обеспечения БМ. К ЯОМ, в частности, принадлежат языки программирования высшего уровня типа ФОРТРАН, АЛГОЛ, ПАСКАЛ, CSL, GPSS; языки на уровне АССЕМБЛЕРА, PLAN, JAS.

Языком манипулирования методами (моделями, программами) является набор операторов, которыми пополняется один из существующих языков команд (языков операторов управления заданиями) операционной системы (ЯКОС) ЭВМ.

Язык манипулирования методами (ЯММ) используется для автоматизации решаемых пользователем оптимизационных задач. В основном он помогает манипулировать симуляторами, находящимися в программном обеспечении БМ, во время реализации машинного эксперимента с имитационной моделью. ЯММ сочетает в себе обычно несколько расширенных макрооператоров, выбранных из имеющихся в ЯКОС, и некоторое количество новых операторов. Таким образом, ЯММ не дублирует возможностей, имеющихся уже в ЯКОС.

В паспорте банка методов представлена вся необходимая пользователю информация о возможностях системы вообще, о ее структуре, реализуемых задачах, СУБМ и т. п. В основной его части содержится в виде таблицы информация о структуре БМ и используемых в нем названиях. Кроме того, ПБМ информирует пользователя об отдельных моделях, находящихся в БМ, способе вызова симуляторов, реализации машинного эксперимента с ними, видах вывода результатов расчетов и т. п.

На наш взгляд, работа ЛПР в условиях функционирования БМ заключается в умелом обращении с паспортом БМ, языком манипулирования моделями и терминальными устройствами.

В условиях применения БМ при выработке управленческих решений большинство операций выполняет ЛПР самостоятельно, программист принимает участие в процессе лишь в случае отсутствия в БМ программ, необходимых для решения поставленных им задач.

Внедрение БМ позволит обеспечить централизованное управление методами, особенно оптимизационными, в процессах принятия управленческих решений.

В случае внедрения на предприятии БМ, его организацию и ведение осуществляет в централизованном порядке специальный администратор, который также следит за содержанием БМ и его управлением. В состав администратора банка методов (АБМ) входит группа высококвалифицированных специалистов, так как множество проблем, возникающих в процессе эксплуатации БМ, превышает возможности одного человека овладеть всей этой сложной системой.

Таким образом, внедрение экономико-математических методов при управлении производством целесообразно осуществлять посредством включения их в банк методов, который имеет следующие преимущества по сравнению с локальными моделями.

1. Сокращает избыточность (редундантность) разрабатываемых и запоминаемых программ (симуляторов, моделей). Известно, что значительную часть объема доступной пользователю памяти ЭВМ занимают файлы и прикладные программы. Сокращение повторимости программ в БМ ведет к новому его качеству — интеграции программного обеспечения БМ.

2. Посредством устранения редундантности влияет на уменьшение противоречивости методов-программ. Противоречивые методы появляются в тех случаях, когда один и тот же метод модифицирован в одной подсистеме (задаче), а в другой — нет. При отражении в БМ определенной проблемы (класса задач, вопросов) соответственно лишь одной программой (когда устранена редундантность методов) противоречивость возникнуть не может.

3. Непрерывное расширение БМ как системы, принадлежащей к классу открытых систем. Практически это означает целесообразность модификации и увеличения возможностей БМ, благодаря тому, что предметная область, для которой он создан, за-

частую изменяется во времени. Реорганизацию БМ следует осуществлять таким способом, чтобы она не вызывала изменений во взаимосвязанных с ним базах данных.

4. При централизованном управлении банком методов возникает возможность распределять программы между многими пользователями с учетом важности их исследований с точки зрения предприятия-собственника данного БМ. В зависимости от этого пользователям присваивается приоритет в доступе к ресурсам БМ.

5. Возможность введения ограниченного доступа к ресурсам БМ. Полная власть над программным обеспечением банка методов открывает АБМ следующие возможности: а) доступ к БМ посредством соответствующих каналов; б) определение процедуры защиты с целью заблокировать любую попытку реализации запрещенного доступа к БМ.

6. Централизованное управление БМ делает возможным введение машинных, промышленных и программных стандартов, что облегчает сопровождение программного обеспечения БМ, обмен программами между разными версиями ЭВМ.

7. Обеспечение независимости данных в базе данных и программ в банке данных.

**Список литературы:** 1. Багриновский К. А., Егорова Н. Е. Имитационные системы в планировании экономических объектов. М., 1980. 230 с. 2. Гвардейцев М. И., Морозов В. П., Розенберг В. Я. Специальное математическое обеспечение управления. М., 1978. 136 с. 3. Keen P. G., Morion M. S. Decision Support system. N.-Y., 1978. 120 p. 4. Майминас Е. З. Процессы планирования в экономике: информационный аспект. М., 1971. 126 с. 5. Олле Т. В. Предложения КОДАСИЛ по управлению базами данных. М., 1981, 240 с. 6. Поспелов Д. А. Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту. М., 1982. 165 с.

*Поступила в редколлегию 20.01.90*

УДК 612.82.014.42.001.57

*Г. А. КОЛОТЕНКО, д-р техн. наук*

### **МОДЕЛЬ АНАЛИЗА СИСТЕМ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ СВЯЗЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА В АСПЕКТЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Спецификой анализа систем синхронных и асинхронных связей головного мозга является наличие фактора случайности, вызываемого нерегулярностью распределения ЭЭГ волн в пространстве и во времени. Однако, установив вероятную зависимость данных систем от функционального состояния, можно проводить анализ с диагностическими целями. Следовательно, задача может быть сведена к определению эффективных параметров систем и выработке рекомендаций по улучшению организационной структуры анализа ЭЭГ волн при различных функциональных состояниях человека-оператора АСУ.

Целью данной статьи является определение некоторых параметров модели анализа систем в аспекте теории массового обслуживания. Охарактеризовать информационную способность модели анализа систем можно с помощью целевой функции

$$c = Ax_m + by_n \rightarrow \min,$$

где  $c$  — информационные потери, обусловленные неразличимыми системами и их разнообразием;  $A, b$  — информационные потери, обусловленные способом регистрации;  $x_m$  — информационные потери, обусловленные неповторяемостью систем;  $y_n$  — информационные потери, обусловленные ограничениями аппаратуры и методологическими средствами автоматического анализа.

Планируя программы работ по исследованию систем при различных функциональных состояниях, необходимо учитывать не только различимые системы связей, предназначенных для гомоморфного отображения вероятностных составляющих, входящих в состав разнообразия систем, но и стремиться отобразить хотя бы элементы этого разнообразия. Для этого можно использовать уравнение

$$Q_j = Q_m + Q_c + Q_k + Q_o, \quad (2)$$

где  $Q_m$  — множество дифференцируемых систем, необходимых для гомоморфного моделирования;  $Q_c$  — множество систем, имеющих общую направленность  $Q_m$  систем связей, но не дифференцируемых при некоторых функциональных состояниях;  $Q_k$  — множество систем, имеющих элементы общей направленности  $Q_m$  систем связей;  $Q_o$  — множество неопределенных систем, равных или отображающих разнонаправленность весов  $x_i$  систем связей.

Для оценки общей направленности индивидуального веса систем определенной пространственно-временной организации  $j$  может быть применена формула

$$L_j \geq \frac{\sum_i x_{ij}}{p_j} \cdot 100\% > L_j, \quad (3)$$

где  $L_j$  — процент общей направленности веса систем, устремленных к достоверности повышения или понижения веса систем связей при определенных функциональных состояниях;  $x_{ij}$  — вес индивидуальных систем, не совпадающих с общей направленностью;  $p_j$  — вес систем, имеющих общую направленность.

Использование теории массового обслуживания при анализе и построении моделей систем с помощью так называемого генератора случайных чисел позволяет фиксировать (в соответствии с заданным законом распределения веса систем) моменты возникновения требований анализа, продолжительность их удовлетворения, сформировать ожидаемую возможность диагностической оценки. По ходу расчетного анализа накапливаются сведения, характеризующие функциональное состояние, уточняются вероятностные зависимости между этими параметрами и функ-

циональным состоянием. В бионическом аспекте это позволит заложить в электронные узлы  $i$ -е требование.

Для этого предусматриваются результаты гомоморфного моделирования  $(i-1)$ -го требования в момент  $t_{i-1}^0$  окончания предыдущего этапа анализа. Если  $T_k$  — момент наступления  $k$ -го требования на анализ ЭЭГ волн ( $k=1, 2, \dots$ ), то  $\sum_{l=1}^{i-1} t_l$  — суммарное время этапов анализа синхронных и асинхронных связей головного мозга предыдущих требований (от 1 до  $i-1$  включительно),  $\sum_{l=1}^{i-1} \omega_l^{q3}$  — то же задержка анализа требований;  $\sum_{l=1}^{i-1} \omega_l^{np}$  — то же канала анализа в ожидании возможных требований;  $n_{i-n}$  — количество требований анализа до наступления  $i$ -го.

При моделировании первого требования все перечисленные выше данные, аппроксимируясь, приравниваются нулю, кроме  $T_h$ , формируемых в соответствии с принятым законом распределения.

Поскольку ЭЭГ выборки индивидуальны, поступают в случайные промежутки времени, этапы анализа корректируются в вероятностной плоскости, и в некоторых случаях нужны дополнительные исследования. В связи с этим «себестоимость» анализа, принимаемая в качестве критерия оптимальности, меняется. Это дает возможность устранить малоинформативность бионических устройств, построенных на принципе функционирования иерархических систем, расширить возможности методологического аппарата. В данном случае предпосылки для проектирования бионических устройств позволяют предполагать, что бионическая система замкнута. Источником требований неформализованного анализа систем является разнообразие ЭЭГ выборок.

Входящий поток требований анализа систем синхронных и асинхронных связей головного мозга образуется формированием частных потоков требований анализа ЭЭГ выборок разных функциональных состояний. Интенсивность входящего потока — величина переменная. Она может быть равна нулю, если ЭЭГ выборки верифицированы, заранее известно, что они характеризуют определенное функциональное состояние и могут быть отображены автоматически по апробированной формализованной программе. В остальных случаях, когда речь идет об усовершенствовании самоорганизующегося электронного бионического устройства, этапы анализа меняются. В этом случае бионическое устройство более высокого уровня развития стремится отобразить и проанализировать не верифицированные ЭЭГ выборки. Формализация анализа систем заключается в самоусовершенствовании методов анализа. Информационная ценность таких бионических устройств, использующих принципы биомедицинских анализаторов систем, выше.

Для образования входящего потока требований анализа систем по каждому вариационному ряду формируются моменты появления требований анализа. С этой целью можно использо-

вать программу для ЭВМ, позволяющую получить так называемые псевдослучайные числа с разными наперед заданными законами распределения веса систем по каждому вариационному ряду. С помощью этой программы можно получить значения  $t_1$  и  $t_2$  для каждой реализации, используемые для установления моментов требований определенного этапа анализа. Решение задачи оптимизации анализа систем может происходить в следующем порядке\*.

1. Установить момент наступления в бионической системе  $i$ -го требования  $t_i^{nx}$  и запомнить номер этапа анализа. Условно обозначим номер требования анализа систем буквой  $a$ :

$$t_i^{nx} = \min T_k = T_a, \quad (4)$$

где  $T_k$  — момент поступления иерархических систем ЭЭГ выборки неизвестного функционального состояния, требующего дополнительного анализа ( $k=1, 2, \dots, z$ ).

2. В соответствии с заданным законом распределения веса систем формируется продолжительность анализа  $i$ -го требования  $t_{1,i}$ .

3. Сопоставляются моменты возникновения  $i$ -го требования  $t_i^{nx}$  и окончания этапа анализа  $(i-1)$  требования  $t_{i-1}^0$ . При  $t_i^{nx} \geq t_{i-1}^0$  канал свободен и осуществляется переход к решению нового этапа анализа систем.

4. Устанавливается длительность реализации  $i$ -го требования анализа  $w_i^{n3}$  в ожидании высвобождения канала анализа:

$$w_i^{n3} = t_{i-1}^0 - t_i^{nx}. \quad (5)$$

5. Определяются моменты начала и окончания канала анализа  $i$ -го требования анализа систем

$$\left. \begin{aligned} t_i^n &= t_{i-1}^0; \\ t_i^0 &= t_i^n + t_{1,i} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

6. Подсчитывается суммарное время ожидания анализа всеми ранее наступившими требованиями, включая  $i$ -е, т. е. длительность простоев:

$$\sum_{i=1}^i w_i^{n3} = \sum_{i=1}^{i-1} w_i^{n3} + w_i^{n3}. \quad (7)$$

7. Подсчитывается простой канала анализа систем в ожидании требований:

$$w_i^{nп} = t_i^{nx} - t_{i-1}^0. \quad (8)$$

8. Находятся моменты начала и окончания этапа анализа  $i$ -го требования:

$$\left. \begin{aligned} t_i^n &= t_i^{nx}, \\ t_i^0 &= t_i^{nx} + t_{1,i} \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

\* При решении задач оптимизации анализа синхронных потенциалов принимал участие В. И. Печеркин,

9. Устанавливается суммарная длительность простоя каналов анализа в ожидании требований, включая  $i$ -е:

$$\sum_{l=1}^i w_l^{np} = \sum_{l=1}^{i-1} w_l^{np} + w_i^{np}. \quad (10)$$

10. Подсчитывается суммарное время, затраченное на обслуживание требований, включая  $i$ -е:

$$\sum_{l=1}^i t_{1,l} = \sum_{l=1}^{i-1} t_{1,l} + t_{1,i}. \quad (11)$$

11. Формируется, в соответствии с установленным законом распределения веса систем, цикл анализа требования  $t_{2,i}$ .

12. Устанавливается момент прибытия очередного требования анализа от  $a$ :

$$T_a = t_i^0 + t_{2,i}. \quad (12)$$

13. Подсчитывается количество проанализированных требований анализа систем

$$n_i = n_{i-1} + 1. \quad (13)$$

14. Подсчитывается средняя длительность простоя каналов устройства в ожидании требований анализа ЭЭГ:

$$w^{np} = \sum_{l=1}^m w_l^{np} / m. \quad (14)$$

15. Определяется производительность каналов анализаторов.

16. Подсчитывается «себестоимость» изготовления устройства для анализа систем

$$c = \sum_{l=1}^m c_l. \quad (15)$$

При аналитическом расчете возможных этапов анализа систем допускается, что поток исходных требований является стационарным, пуассоновским с интенсивностью  $D$ . Длительность анализа систем в

$$p = \{T > b\} = l^{-\lambda b}. \quad (16)$$

Система в данном случае эргодична. Сущность эргодичности состоит в том, что для моментов времени, достаточно удаленных от начального состояния, на состояние системы анализа в рассматриваемый момент времени можно пренебречь. Тогда каждый дополнительный этап анализа систем можно рассматривать независимо от формализованных ранее параметров. В таком случае, если система в течение времени  $t_0$  занята обработкой некоторого требования, то вероятность окончания анализа в интервале  $[t_0, t_0 + \Delta t]$  равна условной вероятности:

$$\frac{p \{t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t\}}{p \{t > t_0\}}. \quad (17)$$

Для показательного распределения  $e^{-\lambda t}$  величина в числителе равна  $\lambda e^{-\lambda t} \Delta t$ , в знаменателе —  $e^{-\lambda t}$ . Таким образом, вероятность окончания начатого этапа анализа равна  $\lambda \Delta t$  и не будет зависеть от начала анализа.

Пусть  $p_i(t)$  — вероятность нахождения системы связей головного мозга в момент времени  $t$  в  $i$ -м состоянии. Вычислим ту же вероятность в момент  $t + \Delta t$ . Для нахождения системы связей головного мозга в момент времени  $t + \Delta t$  в состоянии  $-1$  имеется две возможности:

$$1) p_{-1}(t)(1 + \alpha \Delta t); \quad (18)$$

$$2) p_0(t) \lambda \Delta t (1 - \alpha \Delta t) \simeq p_0(t) \lambda \Delta t. \quad (19)$$

Объединив (18), (19), получим

$$p_{-1}(t + \Delta t) = p_{-1}(t)(1 - \alpha \Delta t) + p_0(t) \lambda \Delta t; \quad (20)$$

$$\frac{p_{-1}(t + \Delta t) - p_{-1}(t)}{\Delta t} = \lambda p_0(t) - \alpha p_{-1}(t). \quad (21)$$

Если  $\Delta t \rightarrow \infty$ , то

$$\frac{dp_{-1}(t)}{dt} = \lambda p_0(t) - \alpha p_{-1}(t). \quad (22)$$

Для определения системы пространственно-временных связей головного мозга в состоянии  $t \neq -1$  имеется три возможности:

$$1) p_{i+1}(t) \lambda \Delta t (1 - \alpha \Delta t) \simeq p_{i+1}(t) \lambda \Delta t; \quad (23)$$

$$2) p_{i-1}(t) \alpha \Delta t (1 - \lambda_0 t) \simeq p_{i-1}(t) \alpha \Delta t; \quad (24)$$

$$3) p_i(t)(1 - \alpha \Delta t)(1 - \lambda \Delta t) \simeq p_i(t) - (\alpha + \lambda) p_i(t) \Delta t. \quad (25)$$

Объединив (23), (24); (25), получим

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \alpha p_{i-1}(t) - (\alpha + \lambda) p_i(t) + \lambda p_{i+1}(t). \quad (26)$$

Решение дифференциальной системы уравнений (22), (26) определяет поведение системы. Исходя из свойства эргодичности, при  $p_i = \text{const}$  производные  $dp_i(t)/dt$  ( $i = -1, 0, 1, 2, \dots$ ) должны обращаться в нуль. В результате имеем

$$\begin{cases} \alpha p_{i+1} - (\alpha + \lambda) p_i + \lambda p_{i+1} = 0; \\ \lambda p_0 - \alpha p_{-1} = 0 \quad (i = 0, 1, 2, \dots). \end{cases} \quad (27)$$

Эта система позволяет по  $p_{-1}$  найти  $p_0$  и  $p_i$ , по  $p_0$  и  $p_i$  определить  $p_2$  и т. д. Тогда, если  $r = \alpha/\lambda$ , то (27) запишется в виде

$$p_i = r^{i+1} p_{-1} \quad (i = 0, 1, 2, \dots). \quad (28)$$

Для определения  $p_{-1}$  и  $p_i$  используется формула

$$\sum_{i=-1}^{\infty} p_i = p_{-1} \sum_{i=-1}^{\infty} r^{i+1} = p_{-1} \frac{1}{1-r} = 1, \quad (29)$$

отсюда  $p_{-1} = 1 - r$  (30);  $p_l = r^{l+1}(1 - r)$  (31).

При условии  $r = \alpha/\lambda < 1$  имеем  $1/\lambda$  — среднюю длительность анализа систем,  $1/\alpha$  — среднюю величину интервалов времени между моментами поступления очередных требований анализа систем. При  $r > 1$  первая величина больше второй, поэтому времени для анализа систем потребуется больше, быстрота анализа ЭЭГ уменьшается. Искомый к. п. д. системы анализа переменных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга

$$\eta = r = \alpha/\lambda. \quad (32)$$

Вероятность того, что длина очередности этапов анализа переменных систем не меньше  $n$ , равна

$$\sum_{i=k}^{\infty} r^{i+1}(1-r) = \frac{r^k}{1-r}(1-r) = r^k. \quad (33)$$

Отсюда следует, что при стремлении «выжать» из автоматической системы анализа больший к. п. д. очередность этапов анализа будет расти. Так, при  $\eta = 0,9$  очередность равна  $0,9^5 = 0,59$ .

Средняя длина очередности этапов анализа возможных систем

$$\sum_{i=0}^{\infty} i r^{i+1}(1-r) = \frac{r}{1-r}, \quad (34)$$

при  $r = 0,9$ ,  $l = 9$ .

Среднее время пребывания требования анализа систем в анализирующем устройстве

$$\int_0^{\infty} t(\lambda - \alpha) e^{-(\lambda - \alpha)t} dt = \frac{1}{\lambda - \alpha}. \quad (35)$$

Общие потери в результате задержек

$$\frac{\alpha}{\lambda + \alpha} a = \frac{ra}{1-r}, \quad (36)$$

где  $a$  — удельные потери в результате реализации в устройстве ранее неопределенного требования анализа систем.

Уменьшить эти потери можно за счет увеличения каналов анализатора, суммарная пропускная способность  $Q$  которых обратно пропорциональна  $r = \frac{\alpha}{\lambda}$ . Удельные расходы эксплуатации равны  $c/r$ , где  $c$  — некоторый постоянный коэффициент, обусловленный формализованной вероятностной составляющей систем, по которой производится дифференциация состояний.

Суммарная «цена» автоматического анализа систем, включая неподвиженные этапы анализа ЭЭГ, приводящие к дополнительным потерям времени, равна

$$f = \frac{ar}{1-r} + \frac{c}{r} \quad (37)$$

Минимум функции достигается при

$$r = \frac{1}{1 + \sqrt{a/c}}$$

что определяет оптимальный к. п. д. модели анализа иерархических систем.

Полученные результаты дали возможность использовать системный анализ вариабельных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга в объективной дифференциальной диагностике. В частности, результаты анализа нашли применение в психофармакологии при определении корреляционных связей ЭЭГ волн различных слоев коры больших полушарий, а также в медико-биологических исследованиях проектируемых сложных эрготических систем.

*Поступила в редколлегию 22.10.84*

УДК 007.51

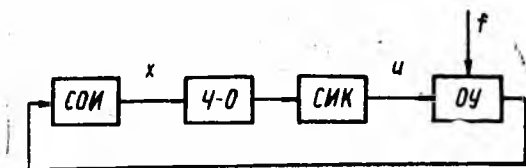
*А. Е. РАДИЕВСКИЙ, канд. техн. наук*

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

Деятельность человека-оператора (Ч-О) в технической эргатической системе управления (СУ) (рисунок, где ОУ — объект управления, СОИ — средства отображения информации, СИК — система исполнения команд) связана с двумя типами адаптации [1]. Первый тип обуславливается процессами, связанными с приобретением Ч-О требуемого уровня профессиональной пригодности (уровня квалификации) — способность Ч-О выполнять определенные действия с требуемыми показателями. Термин «требуемый уровень профессиональной пригодности (уровень квалификации)» предполагает наличие у Ч-О специальных знаний, умений и навыков в рамках необходимого информационного обеспечения деятельности Ч-О и его психофизиологических возможностей.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, овладение специальными знаниями, возникновение умений и превращение всех элементов деятельности в навыки происходит успешно и экономически оправданно при предварительном обучении и тренинге на специализированном тренажере (СТ). Процесс обучения

и тренажа на СТ, как правило, строится на основе человеко-машинной обучающей системы (технические средства (ТС) — инструктор (И)), предназначенной для целенаправленного формирования профессиональных характеристик Ч-О, достижения ими требуемого профессионального уровня [2].



Система управления

Эффективность функционирования системы «СТ — Ч-О — И» определяется, в частности, качеством учебно-методического обеспечения (УМО), предназначенного для организации учебного процесса на СТ, возможности реализовать:

1) учебный процесс оптимальным образом, что определяется степенью совершенства функционирования системы «СТ—Ч-О—И» и связано с решением следующих задач: а) организация учебного процесса по гибкой программе в зависимости от начального уровня специальных знаний, умений и навыков Ч-О и степени усвоения им учебного материала; б) нарастание, в соответствии с программой учебного процесса, сложности решаемых задач (по принципу «от простого к сложному»); в) изменение временного масштаба учебного процесса ускорение или замедление, варьирование параметров, условий и ситуаций;

2) процесс объективного контроля хода и результатов;

3) процесс выявления методических пробелов.

УМО состоит из методического и учебного обеспечения. Методическое обеспечение предназначено для управления учебным процессом на СТ и состоит из двух взаимосвязанных систем: управления и контроля учебного процесса.

Система управления учебным процессом предназначена для решения следующих задач: 1) анализ исходных данных о Ч-О, формирование цели и задач учебного процесса; 2) выбор программ и методик реализации учебного процесса; 3) планирование учебного процесса; 4) выдача итогового протокола учебно-тренировочного занятия. Основой системы управления является методическая модель учебного процесса, отражающая детализированное описание процесса обучения и тренажа на СТ и реализуемая посредством следующих методических материалов:

1) программа подготовки, содержащая перечни целей, учебных тем, учебно-тренировочных занятий и учебных задач, квалификационные требования к Ч-О после окончания курса обучения и тренажа, а также перечень необходимых учебных материалов;

2) план, в котором отражены вид и порядок проведения учебно-тренировочного занятия;

3) руководство (методика) для И по проведению учебно-тренировочного занятия, которое включает перечень, сценарии и схемы решения учебных задач, план и методику проведения учебно-тренировочного занятия, перечень специальных знаний, умений и навыков, которые должны быть сформулированы в рамках конкретного учебно-тренировочного занятия, а также реализация системы контроля учебно-тренировочного занятия.

Система контроля учебного процесса предназначается для объективной оценки полученных Ч-О специальных знаний, умений и навыков, степени их усвоения. Контроль реализуется на основе критериев, учитывающих следующие показатели деятельности Ч-О [3]: точностные (точность выполнения учебного задания, величина и количество ошибок), временные (время выполнения учебного задания, скорость переработки информации, частота управляющих воздействий), энергетические (энергетические затраты на выполнение учебного задания, психофизиологическое состояние Ч-О) и надежностные (вероятность правильного или ошибочного выполнения учебного задания). Будучи функционально связанной с ходом учебного процесса на СТ, система контроля реализуется как индивидуальная на каждом этапе учебного процесса (этапы формирования специальных знаний, умений и навыков). Общими для всех этапов реализации системы контроля на СТ является возможность:

1) оценки учебного процесса на основе как частных (присущих конкретному этапу), так и обобщенных (присущих всему учебному процессу) критериев;

2) фиксации тенденции изменения профессиональных характеристик Ч-О как на отдельном этапе, так и в ходе всего учебного процесса;

3) автоматической оценки количественной и качественной стороны деятельности Ч-О в учебном процессе;

4) обеспечения: а) информативности и достоверности критериев, характеризующих состояние Ч-О в ходе учебного процесса; б) простоты реализации; в) непрерывного функционирования в течение всего курса обучения и тренажа; г) отсутствие помех в деятельности Ч-О (не отвлекать Ч-О от его основной деятельности — обучение и тренаж); д) возможность контроля хода учебного процесса как в режиме обучения и тренажа под руководством И, так и в режиме самоподготовки.

На каждом из этапов система контроля реализуется как человеко-машинная, состоящая из двух, дополняющих друг друга видов контроля: инструментального (реализуется посредством ТС) и инструкторского (реализуется посредством И).

Инструментальный контроль позволяет обеспечить: 1) получение достоверной информации о деятельности Ч-О в ходе учебного процесса; 2) непрерывную фиксацию факторов, определяющих качество протекания учебного процесса, с последующим количествен-

ным и качественным анализом показателей степени усвоения учебного материала и уровня подготовленности в процессе формирования специальных знаний, умений и навыков; 3) устранение элемента субъективности, являющегося следствием различной квалификации И, а также их психофизического состояния; 4) использование серийно выпускаемых ТС.

Инструкторский контроль позволяет обеспечить: 1) хорошую приспособляемость системы контроля к индивидуальности Ч-0; 2) оперативность контроля; 3) гибкий подход к оценке и анализу результатов обучения и тренажа.

Система контроля учебного процесса на СТ решает два типа задач: констатирующие и прогнозирующие.

Констатирующий контроль предназначается для проверки готовности Ч-0 к выполнению конкретной деятельности и реализуется трех видов: входной (определение начального уровня профессиональной пригодности (уровня квалификации) Ч-0); текущий (определение факторов, характеризующих качество протекания учебного процесса) и итогового (определение факторов, характеризующих уровень профессиональной пригодности (уровня квалификации) Ч-0 после завершения полного курса обучения и тренажа на СТ). Прогнозирующий контроль предсказать возникновение у Ч-0 нежелательных состояний, ведущих к снижению эффективности учебного процесса и являющихся следствием неадекватности состояния Ч-0 (начальный уровень специальных знаний, умений и навыков, а также психофизиологических характеристик Ч-0) и сложности программы обучения и тренажа.

Процесс выявления методических пробелов учебного процесса и его совершенствование базируется на анализе (количественном и качественном) протокола учебно-тренировочного занятия.

Основой учебного обеспечения является библиотека руководящих и учебных материалов, обеспечивающих проведение учебно-тренировочного занятия и состоящая из руководства для Ч-0 по подготовке к учебно-тренировочному занятию и решению учебных задач, а также учебных материалов. Руководство для Ч-0 по подготовке к учебно-тренировочному занятию включает перечень вопросов для организации процесса подготовки и контролю готовности Ч-0 к учебно-тренировочному занятию, принципы анализа реализуемых Ч-0 учебных задач, а также перечень используемых учебных материалов. Руководство для Ч-0 по решению учебных задач включает описание учебной задачи (постановка, цель, формулировка задания Ч-0, описание характера представления учебных материалов и использования ТС), способы ее решения, количественные и качественные ориентиры, критерии успешности решения учебной задачи, а также перечень вопросов для самоконтроля. Учебные материалы строятся на основе алгоритмических методов, удовлетворяют принципу программируемости, способствуют пониманию Ч-0 внутренней логики функционирования исследуемой СУ и легко стыкуются с ТС обучения

и тренажа [4]. Учебные материалы представляют собой специально организованную информацию, предназначенную для усвоения, систему контрольных вопросов и заданий, позволяющих самостоятельно оценить качество усвоения учебного материала в индивидуальном темпе, удобном для Ч-О.

Номенклатура и специфика библиотеки учебных материалов определяется особенностями функционирования исследуемой СУ, требуемым объемом специальных знаний, умений и навыков для успешной деятельности в исследуемой СУ.

Пусть действие возмущающего воздействия  $f$  в исследуемой СУ приводит к нарушению расчетного режима ее функционирования: появляется отклонение  $\Delta x$  вектора фазовых координат  $x$  от вектора задающих воздействий  $x^{\text{зад}}$ . Задачей Ч-О является формирование и реализация управляющего воздействия  $u(t)$  с целью отработки возникшего отклонения  $\Delta x$  и при условии, что процесс отработки удовлетворяет требуемым показателям. Видно, что предметом исследования являются динамические аспекты взаимодействия Ч-О с технической частью СУ в режиме компенсаторного слежения.

Степень совершенства деятельности Ч-О в исследуемой СУ зависит от сформированности у него концептуальной модели управляемого процесса, т. е. от наличия у Ч-О специальных знаний, умений и навыков.

Термин «специальные знания» означает наличие у Ч-О знаний статических и динамических свойств постоянной части исследуемой СУ. Процесс формирования специальных знаний, являющихся основой для формирования умений и навыков, основан на работе с программированным пособием [4]. Главный вопрос, на который отвечает программированное пособие, это вопрос «почему?».

Навыки совместно со специальными знаниями являются основой для формирования процесса принятия решения, реализации сенсорно-моторной стороны деятельности Ч-О. Необходимый объем навыков для исследуемой СУ:

1) восприятие и переработка информации (взаимодействие с СОИ, обнаружение отклонения  $\Delta x$ );

2) принятие решения (интерпретация информации и оценка ситуации, вычисления, планирование деятельности (последовательность операций, расчет допустимого времени на решение задачи));

3) сенсорно-моторная деятельность в процессе реализации принятого решения (работа с СОИ и СИК, реализация оптимального алгоритма управления).

Процесс формирования навыков основан на работе Ч-О с картами наблюдений, планами деятельности и деревьями оценки ситуации [4]. Карты наблюдений предназначаются для формирования навыков оценки статических режимных ситуаций (навыки наблюдения и планирования) в результате анализа параметров исследуемой СУ. Планы деятельности предназначаются для

формирования навыков принятия решений по последовательному проведению операций при заданной цели управления и в условиях наложенных ограничений. Деревья оценки ситуаций предназначены для формирования навыков оценки причинно-следственных связей явлений в исследуемой СУ, что способствует снижению психофизической напряженности Ч-О в процессе его деятельности. Деревья оценки ситуации реализуются в виде иерархической ветвящейся структуры (направленный граф). На основании специальных знаний и навыков формируются умения. Процесс формирования умений основан на работе со сценариями тренировок.

**Список литературы:** 1. *Моделирование систем полуавтоматического управления космических кораблей/Под общ. ред. А. И. Яковлева. М., 1986. 280 с.* 2. *Подольский А. И. Становление познавательного действия. Научная абстракция и реальность. М., 1987. 175 с.* 3. *Тренажерные системы/Под общ. ред. В. Е. Шукшунова. М., 1981. 256 с.* 4. *Чачко А. Г. Подготовка операторов энергоблоков. М., 1986. 232 с.*

*Поступила в редколлегию 04.06.90*

УДК 681.3.06:007.52

*И. Г. ФИЛИППЕНКО, д-р техн. наук, Н. Ю. ЯЩЕНКО*

#### **СЕМАНТИКО-СИНТАКСИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ФРАЗ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В СИСТЕМАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОБРАЗНУЮ**

Понимание описания сцен означает, прежде всего, способность преобразовать символично-вербальную информацию в визуальное аналоговое представление. При описании сцен на естественном языке обычно упускаются многие детали, поскольку они не находятся в центре внимания. Кроме того, естественный язык (ЕЯ) — не самое лучшее средство для точного указания местоположения и пространственных отношений объектов. Поэтому процесс интерпретации неоднозначных высказываний и логическое выявление недостающих деталей описания требует привлечения многих видов знаний — от лингвистических правил до физических законов.

Разнородность привлекаемых знаний, свободный порядок слов предложений русского языка порождает необходимость построения многослойной архитектуры программного обеспечения, где слои определяются как отображения на уровнях абстракции данных, с использованием знаний, локализованных в соответствующем слое программного обеспечения. Адекватность аналогового представления статических сцен в решающей степени зависит от построения отношений на уровне локального контекста, например, учет пространственных предлогов типа: на, под, над. Аналоговое представление динамических сцен связано с анализом семантики предикатных конструкций. Таким образом, целесообразно выделить концептуальный, эпистемологический и логический уровни. Тогда интерпретатор фраз ЕЯ — это программа, реали-

зующая вычислительные модели каждого слоя и осуществляющая переход с уровня на уровень.

Настоящая статья посвящена, главным образом, проблеме моделирования процесса «понимания» описаний на ЕЯ статических сцен, то есть ограничимся разработкой ролевой семантической грамматики  $Gg:\tau \rightarrow Fg$ , где  $\tau$  — входная цепочка слов фраз ЕЯ;  $Fg$  — внутреннее фреймовое семантическое представление.

Для решения этого вопроса воспользуемся реляционной алгеброй, ориентированной на взаимодействие с системами представления знаний — алгеброй Руссопулоса ( $R$ -алгеброй). Она имеет некоторые особенности [1]:

$R$ -алгебра является экстенциональной алгеброй, т. е. служит целям интерпретации некоторой интенциональной алгебры (алгебры фрейлов); существенно явно указывать точки соотнесения  $k \in \text{Asg}$  (возможные миры), относительно которых вычисляется экстенционал;

экстенционалы должны быть упорядочены в виде определенной математической структуры, поскольку они ассоциированы отношением частичного порядка ISA — иерархии, установленным между фреймами;

при построении атрибутов необходимо учитывать их связь как с базисными, так и с производными типами.

Построенная вычислительная модель эпистемологического уровня должна адекватно отображать концептуальный уровень — взгляды пользователя на базовые отношения.

Переходя к построению вычислительной модели ЕЯ — интерфейса, отметим некоторые ее особенности. Построение эпистемологического уровня ЕЯ — интерфейса не связано непосредственно с означиванием некоторой интенциональной структуры, так как база знаний содержит лишь фрейм-прототипы, соответствующие нашим представлениям о семантике основных предикатных конструкций (например, Р. Шенк [2] выделяет 11 таких предикатных конструкций). А следовательно, ключевым моментом в построении вычислительной модели эпистемологического уровня есть определение оценивающего отображения.

Для целей построения эпистемологического уровня воспользуемся понятиями предструктуры и структуры.

**Предструктура.** Множество значений задает предструктура — пара  $(\{V_\sigma\}, \{\varepsilon_{\sigma\tau}\})$ , где  $V_\sigma$  — непустой домен виртуальных объектов, поставленных в соответствие типовому символу  $\sigma$ ;  $\varepsilon_{\sigma\tau}$  — отображение  $\varepsilon_{\sigma\tau}: V_\sigma \times V_\sigma \rightarrow V_\tau$ , обладающее свойством экстенциональности:  $(\text{ext})$ : если  $x, y \in V_\sigma$  и для  $\forall z \in V_\sigma$   $\varepsilon_{\sigma\tau}(x, z) = \varepsilon_{\sigma\tau}(y, z)$ , то  $x = y$ .

Приписыванием в предструктуре  $(\{V_\sigma\}, \{\varepsilon_{\sigma\tau}\})$  называется означивание переменных  $k: \forall \sigma \in T, x_\sigma(k) \in V_\sigma(k)$ . Обозначив множество всех приписываний как  $\text{Asg}$ , введем оценивающее отображение:

$$\text{Val}: \text{Tm} \rightarrow (\text{UV}_\sigma)^{\text{Asg}}$$

*Структура.* Структура есть тройка:

$$S = (\{V_\sigma\}, \{\varepsilon_{\sigma\tau}\}, \text{Val}, \text{ где для всех } T:$$

1.  $\text{Val}(x_\sigma) \in V_\sigma^{\text{Asg}}$  и  $\text{Val}(x_\sigma, k) \stackrel{\cdot}{=} x_\sigma(k)$  для всех  $k \in \text{Asg}$ ;
2.  $\text{Val}((de)) = (\varepsilon_{\sigma\tau}(\text{Val}(d), \text{Val}(e)))^{\text{Asg}}$  и  $\text{Val}((de), k) = \varepsilon_{\sigma\tau} \times (\text{Val}(d, k), \text{Val}(e, k))$  для  $k \in \text{Asg}$ , где  $d, e \in \text{Tm}$ ,  $d: (\sigma, \tau)$   $e: \sigma$ ;
3.  $\varepsilon_{\sigma\tau}(\text{Val}((\lambda x. d), k) c(k)) = \text{Val}(d, k_c^x)$ , для всех  $c \in V_\sigma$ , где  $d: \tau$  — терм,  $x: \sigma$  — переменная,

$$x(k_c^y) \stackrel{\cdot}{=} \begin{cases} x(k) & y \neq x; \\ c(k) & y = x. \end{cases}$$

$y$  — переменная, т. е.  $\text{Val}((\lambda x. d), k)$  есть функция  $\Phi: V_\sigma(k) \rightarrow V_\tau(k)$ , где для любых  $c(k) \in V_\sigma(k)$  справедливо:  $\Phi(c) \stackrel{\cdot}{=} \text{Val}([c/x]d, k)$  и  $\Phi(\sigma, \tau)$ .  $\Phi$  — производящая функция объекта (прообраза фрейма)  $\lambda x. d$ .

Зафиксируем базисные типы. Согласно принципу телеологической проекции [3] базисными типами являются  $\sigma$  — существительное в широком смысле этого слова;  $\tau$  — предложение. Тогда в качестве отображения могут выступать

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\sigma\sigma}: V_{\sigma\sigma} \times V_\sigma &\rightarrow V_\sigma; & \varepsilon_{\sigma\tau}: V_{\tau\sigma} \times V_\tau &\rightarrow V_\sigma; \\ \varepsilon_{\sigma\tau}: V_{\sigma\tau} \times V_\sigma &\rightarrow V_\tau; & \varepsilon_{\tau\tau}: V_{\tau\tau} \times V_\tau &\rightarrow V_\tau. \end{aligned}$$

Рассмотрим каждое из перечисленных отображений.

1. Отображение  $\varepsilon_{\sigma\sigma}$  интерпретируется как преобразователь именной группы в именную группу. В качестве преобразователей существительного в существительные выступают в русском языке чаще всего прилагательные (аплицируя, например, прилагательное «белый» к существительному «стол», формируем новое существительное или именную группу «белый стол»), числительные, причастия, притяжательные местоимения, существительные с предлогом и т. д. Каждому из перечисленных преобразователей может быть приписан тип  $\sigma\sigma$ , т. е. каждый из них может принадлежать домену  $V_{\sigma\sigma}$ .

Каждый объект  $t$  обладает набором признаков, определенных на совокупности доменов  $|\delta_1, k|, |\delta_2, k|, \dots, |\delta_n, k|, |\eta_1, k|, \dots, |\eta_s, k|$ , как подмножество прямого произведения  $|\delta_1, k| \times |\delta_2, k| \times \dots \times |\delta_n, k| \times |\eta_1, k| \times \dots \times |\eta_s, k|$ , где  $\delta_i$  — тип морфологической характеристики;  $\eta_j$  — тип семантической характеристики.

Тогда функция, характеризующая объект  $t$  (обозначим ее  $\bar{\varphi}_t(k)$ ), есть отображение

$$\bar{\varphi}_t(k): |\delta_1, k| \times |\delta_2, k| \times \dots \times |\delta_n, k| \times |\eta_1, k| \times \dots \times |\eta_s, k| \rightarrow B,$$

где  $B = \{\text{true}, \text{false}\}$ .

Приписывание типа  $\sigma$  объекту  $t$  связано с вычислением  $\text{Val}(t) \in V_{\sigma}^{\text{Asg}}$ .

Зададим производящие функции:  $\overline{\varphi}_i^l(\overline{p}_i)(k) \in B$ , где  $\overline{p}_i \in |\delta_i, k|$ ,  $i = \overline{1, l}$  — значения морфологических характеристик, однозначно определяющих принадлежность к  $V_{\sigma}$ :

$$|\delta'_i, k| \stackrel{\text{def}}{=} \inf_{\overline{p}_i \in H_{\delta_i}} (|\delta_i, k|, \varphi_i^l(\overline{p}_i)),$$

где  $|\delta'_i, k|$  — производные домены, удовлетворяющие ограничениям  $\overline{\varphi}_i^l(\overline{p}_i)$ . Тогда  $\text{Val}(t, k) : |\delta'_1, k| \times |\delta'_2, k| \times \dots \times |\delta'_l, k| \rightarrow B$ .

Приписывание объекту типа  $\sigma$  функционально зависимо от значений морфологических признаков, характеризующих объект, имеющий базисный тип.

Пусть объект  $t_1$  имеет тип  $\sigma(t_1 : \sigma)$  и его производящая функция

$$\overline{\varphi}_{t_1}(k) : |\delta_1, k| \times |\delta_2, k| \times \dots \times |\delta_n, k| \times |\eta_1, k| \times \dots \times |\eta_s, k| \rightarrow B.$$

Объект  $t_2$  определен на доменах  $|\Delta_1, k|, \dots, |\Delta_m, k|, |\eta_1, k|, \dots, |\eta_s, k|$ .

$$\overline{\varphi}_{t_2}(k) : |\Delta_1, k| \times |\Delta_2, k| \times \dots \times |\Delta_m, k| \times |\eta_1, k| \times \dots \times |\eta_s, k| \rightarrow B,$$

где  $n, m > 0$ .

Рассмотрим предикаты  $\overline{\Theta}(\overline{p}_i, \overline{q}_i), \dots, \overline{\Theta}(\overline{p}_l, \overline{q}_l)$ , для которых  $v = \overline{1, l}$ , а  $\overline{p}_v \in |\delta_v, k|$  и  $\overline{q}_v \in |\Delta_v, k|$  — значения морфологических признаков, имеющих одинаковые или подобные типы.

Объект  $t_2 \in V_{\sigma\sigma}^{\text{Asg}}$ , если производящая функция  $\overline{\varphi}_{t_2}^v(k)$ , определенная на доменах  $|\Delta'_1, k|, |\Delta'_2, k|, \dots, |\Delta'_l, k|$ , как подмножество прямого произведения  $|\Delta'_1, k| \times \dots \times |\Delta'_l, k|$  истинна (очевидно, что производные домены образуют булеву алгебру):

$$\Delta'_j \stackrel{\text{def}}{=} \inf_{\overline{q}^v \in H_{\Delta_v}} (\overline{\varphi}_{t_2}^v(k)(\overline{q}_1, \dots, \overline{q}_{j-1}, \overline{q}_{j+1}, \dots, \overline{q}_m), \overline{\Theta}(\overline{p}_v)).$$

Таким образом, найдены выражения для вычисления  $\text{Val}(t_1, k)$  и  $\text{Val}(t_2, k)$ .

Характерным свойством отображения  $\varepsilon_{\sigma\sigma}$  является то, что переход от существительных к существительным осуществляется за счет образования словосочетаний с подчинительной связью. Категориальная характеристика объекта, имеющего базисный тип, не изменяется, а происходит лишь ее спецификация с помощью определяемого, то есть объект  $t_2 \in V_{\sigma\sigma}$  является значением характеристики объекта  $t_1 \in V_{\sigma}$ . Функция  $\varepsilon_{\sigma\sigma}$  каждому объ-

екту  $t_1 \in V_\sigma$  и каждому  $k \in \text{Asg}$  ставит непустое множество  $|\sigma, k|$ , так что объект  $(t_2 t_1) \in |\sigma, k|$ .

2. Отображение  $\varepsilon_\sigma$  интерпретируется как преобразователь существительного или эквивалентной ему именной фразы в предложение. В качестве таких преобразователей чаще всего выступают в русском языке одновалентный глагол (глагольная группа) или краткое причастие. Такие преобразователи называют *предикатами*. Обозначим через  $P$ .

Синтаксические выражения, вычисляющие принадлежность объектов доменам  $V_\sigma$  и  $V_{\sigma\tau}$ , аналогичны приведенным выше.

Предикат в общем случае может иметь  $n$  аргументных мест. Поэтому построение отображения  $\varepsilon_\sigma$  есть частный случай отображений  $\varepsilon_{\sigma\sigma}$ ,  $\varepsilon_{\sigma\sigma\tau}$  и т. д., т. е.  $\text{Val}(P(t_1, \dots, t_n)) \hat{=} (\varepsilon(P, (\text{Val}(t_1), \dots, \text{Val}(t_n))))^{\text{Asg}}$ , где  $\bar{P}$  — интенционал, а  $\varepsilon(x_1, \dots, x_{n+1}) = \varepsilon(\varepsilon(x_1, x_2), \dots, x_{n+1})$  для соответствующих  $x_1, \dots, x_{n+1}$  и каждое вхождение  $\varepsilon$  обозначает соответствующее  $\varepsilon_\sigma$ .

Интенционал  $\bar{P}$  в базе знаний формально представляет собой структуру вида

$$(\bar{P}_1 \langle \rho_1, \bar{S}_1 \rangle, \dots, \langle \rho_n, \bar{S}_n \rangle, \langle p_1, F_1 \rangle, \dots, \langle p_m, F_m \rangle),$$

где  $\bar{P}$  — имя предикатной конструкции;  $\rho_i$  — ролевая метка, декларирующая  $i$ -е свойство предиката;  $\bar{S}_i$  — описание  $i$ -го свойства в форме реляционного отношения;  $p_j$  — процедурная метка, описывающая  $j$ -е действие;  $F_j$  — обращение к  $\lambda$ -выражению, ассоциированному с  $p_j$ .

Различаем около 30 падежных (ролевых) позиций. Для каждой из падежных позиций, предусмотренных в падежной модели предиката в соответствующем варианте его употребления, даются семантические сведения о существительных, которые опосредованно выступать в данной позиции, т. е.  $\bar{S}_i: (\mu_{i1}, \dots, \mu_{in})$ , где  $\mu_{in}$  — тип семантической характеристики для  $i$ -й падежной позиции.

Существительным в словарных статьях соответствуют семантические коды. Как показано выше, объект  $t \in V_\sigma$ , имеющий тип  $\sigma$ , характеризуется функцией  $\bar{\varphi}_t(k)$ , которая есть отображение

$$\bar{\varphi}_t(k) : |\delta_1, k| \times |\delta_2, k| \times \dots \times |\delta_n, k| \times |\eta_1, k| \times \dots \times |\eta_s, k| \rightarrow B.$$

Рассмотрим предикаты  $\bar{\Theta}(\bar{s}_1, \bar{r}_1), \dots, \bar{\Theta}(\bar{s}_n, \bar{r}_n)$ , для которых  $v = \bar{1}, \bar{l}$ , а  $\bar{s}_i, v \in |\mu_v, k|$ ,  $\bar{r}_i, v \in |\eta_v, k|$  — значения семантических характеристик, имеющих одинаковые или подобные типы.

Каждое  $i$ -е вхождение  $\varepsilon_\sigma$  соответствует приписыванию объекту  $t$ :  $\sigma$  ролевой метки  $\rho_i$ :

$$\varepsilon_{\sigma\tau}^i : |\eta'_1, k| \times |\eta'_2, k| \times \dots \times |\eta'_i, k| \rightarrow B,$$

где  $|\eta'_j, k|$  — производный домен  $j$ -го семантического признака,

$$\eta'_j \hat{=} \inf(\bar{\varphi}_t(k)(\bar{r}_{1v} \dots \bar{r}_{j-1v}, \bar{r}_{j+1v} \dots \bar{r}_{nv}) \bar{\Theta} \bar{s}_i).$$

Таким образом,  $\text{Val}(P(t_1, \dots, t_n), k) \equiv \varepsilon(\bar{P}(k), \bar{t}_1(k), \dots, \bar{t}_n(k))$ , т. е. вычисление экстенционала «целого», сводится к вычислению экстенционалов «частей». Предикату  $P(k)$  на эпистемологическом уровне соответствует область, образованная полем синонимических предложений. Обозначим этот факт с помощью записи

$$H_7(k) \equiv \{\|\bar{P}\| \|\bar{P}\| : k \rightarrow (? \rightarrow B)\}.$$

Символ типа « $\bar{P}$ » употреблен в том смысле, что предикаты из области  $H(k)$  различаются предложно-падежным управлением. Например, для трехвалентного предиката, пользуясь знаком декартова произведения, можно построить 3!-6 различных типов:  $o \times l \times a, a \times o \times l, l \times a \times o, l \times o \times a, a \times l \times o, o \times a \times l$ , где  $a, o, l$  — роли в традиционной интерпретации. Каждый из них может быть выбран для замещения символа « $?$ ». Выбор зависит от толкования предиката (от конкретного соотношения, «возможного мира») на эпистемологическом уровне, т. е.

$$\begin{aligned} \|\bar{P}\| : \bar{P}(k) : o \times l \times a \rightarrow B, \bar{P}(k) : a \times o \times l \rightarrow B, \bar{P}(k) : l \times a \times o \rightarrow B \\ \bar{P}(k) : a \times l \times o \rightarrow B, \bar{P}(k) : l \times o \times a \rightarrow B, \bar{P}(k) : o \times a \times l \rightarrow B, \end{aligned}$$

где  $k \in \text{Asg}$ .

Продемонстрируем вышесказанное на примере предиката коммуникации (типа «говорить»). Семантическое поле этого предиката образуется в русском языке предложениями с глаголами: докладывать, заявлять, кричать, объявлять, писать, сообщать, твердить и т. д. Например,

Брат излагает факты сестре  
 Факты излагаются братом сестре.  
 Брат уведомляет сестру о фактах  
 Сестра уведомляется братом о фактах.  
 Сестра узнает факты от брата  
 Факты узнаются сестрой от брата.

Различие улавливается установлением соотношений и их перечислением. В рассматриваемом примере:  $\|\text{говорить}\|k_1 = \text{уведомляет}$ ;  $\|\text{говорить}\|k_2 = \text{излагает}$ ;  $\|\text{говорить}\|k_3 = \text{излагаются}$ ;  $\|\text{говорить}\|k_4 = \text{уведомляется}$ ;  $\|\text{говорить}\|k_5 = \text{узнает}$ ;  $\|\text{говорить}\|k_6 = \text{узнаются}$ , где  $\{k_1, k_2, \dots, k_6\} \in \text{Asg}$  — выделенная совокупность точек соотношения.

Переходы от одних точек соотношения к другим обеспечивают смену типов предикатных конструкций и могут быть реализованы систематическим использованием комбинаторов.

В нашем примере:

говорить = уведомляет

$C_1$  говорить = излагает

$C_{121}$  говорить = излагаются

$C_2$  говорить = уведомляется

$BC_1C_2$  говорить = узнает  
 $BC_1C_{|2|}$  говорить = узнаются

Таким образом, осуществляется переход на новый уровень в многослойной архитектуре программного обеспечения.

3. Отображение  $\varepsilon_{\tau\sigma}$  интерпретируется как преобразователь предложения в существительное в широком смысле слова. В ка-

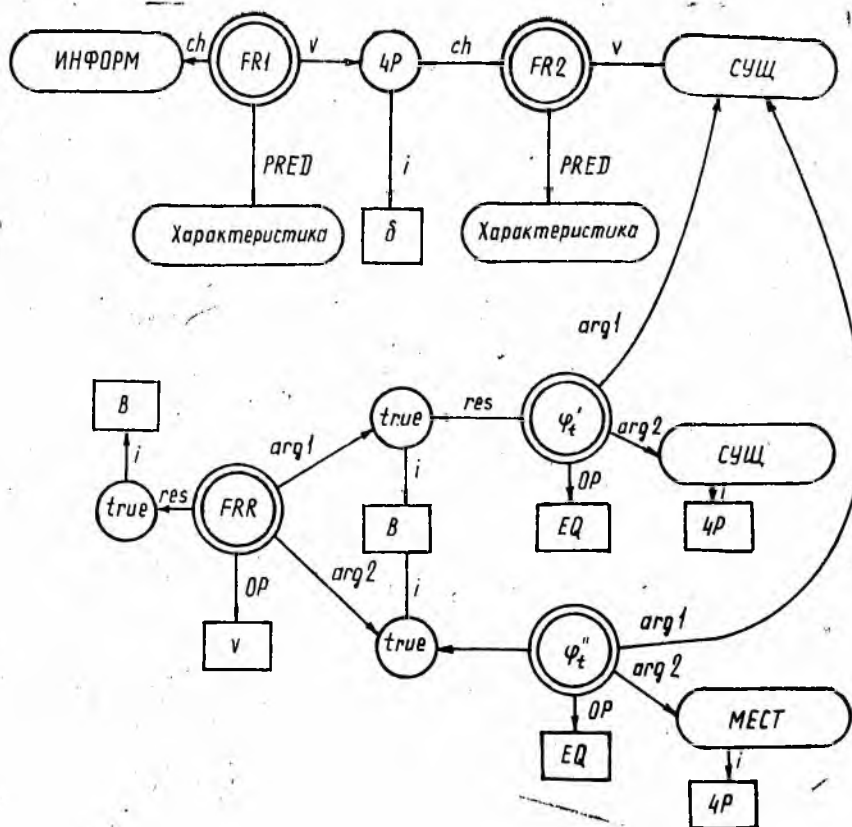


Рис. 1. Фрейм

честве таких преобразователей выступают в русском языке подчинительные союзы типа: что. Вычисление  $Val(t) \in V_{\tau\sigma}$  не представляет трудностей. Интересно, что в качестве существительного в широком смысле слова выступает предикатная конструкция (погруженное предложение), которой в дальнейшем будет приписана ролевая пометка. В результате работы интерпретатора в этом случае будет построена иерархическая структура, соответствующая причинно-следственным, обстоятельству-орудийным или другим отношениям в зависимости от контекста входного предложения. Обозначим  $\varepsilon_{\tau\sigma}$  через  $R_T$  — релятор номитализации по-

груженого предложения, т. е.  $R_T$  моделирует следующие преобразования:

$S\Delta KSR_T\Delta CKR_T S$ , где  $S$  — погруженное предложение;  $K$  — элементарный канцелятор;  $C$  — элементарный пермутатор;  $\Delta$  — отношение экпансии.

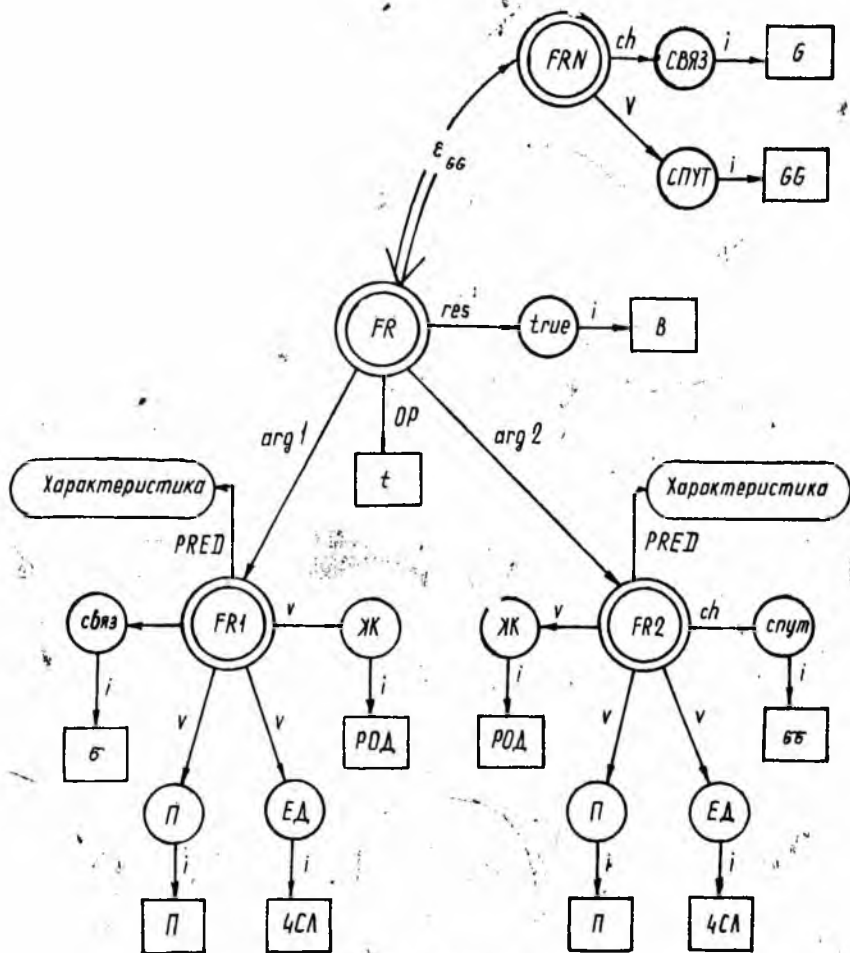


Рис. 2. Гиперфрейм

4. Интерпретацию отображения  $\epsilon_{\tau\tau}$  можно проиллюстрировать в русском языке на примере различных вводных слов в предложении. Например, по-видимому, солнце светит. Вычисление  $Val(t) \in V_{\tau\tau}$ , как и в предыдущем случае, не вызывает трудностей. Кроме того, вводные слова не несут какой-либо существенной семантической нагрузки в предложении, поэтому отображение  $\epsilon_{\tau\tau}$  подавляет домен  $V_{\tau\tau}$ , упрощая входную цепочку слов предложения для дальнейшего анализа.

Таким образом, лингвистический процессор интерпретатора осуществляет построение внутреннего фреймового семантического представления на основе разработанной ролевой семантической грамматики.

Конкретизируем содержательную интерпретацию разработанной ролевой грамматики. Рассмотрим в качестве примера входного предложения следующее: *Информация получена по спутниковой связи.*

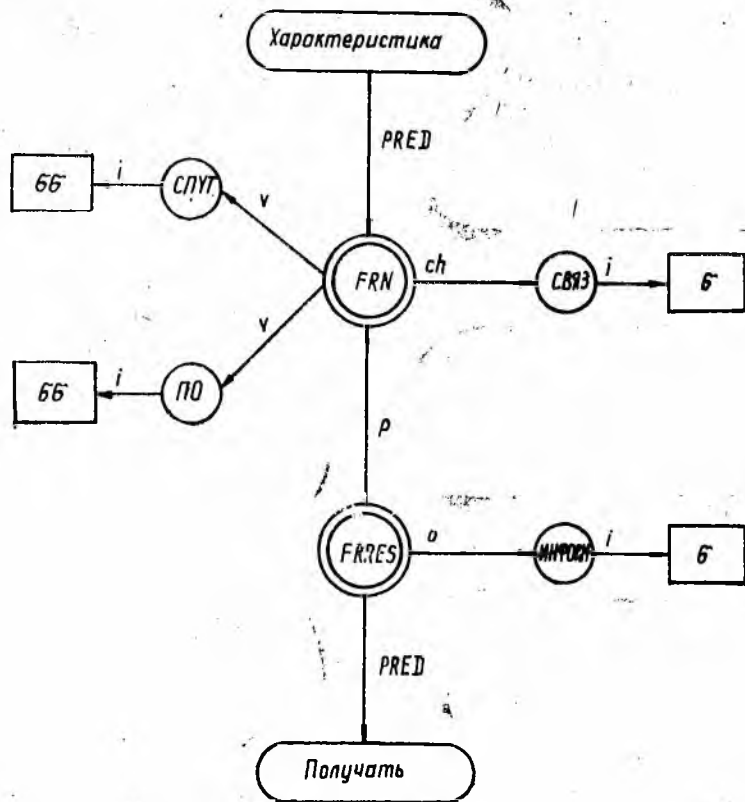


Рис. 3. Результатирующая фреймовая структура

Существительные определяются на доменах: ЧР (часть речи), ОДУШ (одушевленность), СН (нарицательное/собственное), РОД, ЧСЛ (число), П (падеж), СКЛ (оклонение); прилагательные определяются на доменах: ЧР, ПАС (пассивность), ВР (время), РОД, ЧСЛ, П, ОДУШ, ВИД; краткие причастия: ЧР, ПАС, ВР; РОД, ЧСЛ, ВИД; предлоги: ЧР, ВПП (временной, пространственный, причинный); ПРОИЗ (производность), П.

Объектами являются корни словоформ со следующим набором морфологических и семантических признаков, приписанным объектам в результате работы морфологического сенализатора:

ИНФОРМ  $\Rightarrow$  {СУЩ, НЕОД, НАР, Ж, ЕД, ИМ, П};

СВЯЗ  $\Rightarrow$  {СУЩ, НЕОД, НАР, Ж, ЕД, П, З};

СПУТ  $\Rightarrow$  {ПРИЛ, ПАС, Ж, ЕД, П, НЕОД};

ПОЛУЧ  $\Rightarrow$  {КРПР, ПАС, ПРОШ, Ж, ЕД, СОВ};

ПО  $\Rightarrow$  {ПРЕД, ПРИЧ, Н, П}.

Объекту будет приписан тип  $\sigma$  (существительное в широком смысле слова), если домен ЧР имеет своим значением СУЩ или МЕСТ, т. е. производящая функция  $\bar{\varphi}_i^t$  в конфигурации БД  $k \in \in \text{Asg}$ , задает множество подстановок, на которых формула  $\varphi_i^t$  принимает значение «истина» (рис. 1).

Это правило последовательно применяется ко всем входным объектам и в результате только корням ИНФОРМ и СВЯЗ приписывается тип  $\sigma$ . Обозначим факт этот с помощью записи вида ИНФОРМ:  $\sigma$ ; СВЯЗ:  $\sigma$ .

Объекту будет приписан тип  $\sigma\sigma$ , если домен ЧР имеет своим значением одно из следующих: ПРИЛ, ЧИСЛ, ПРИЧ, ПРМЕСТ, ПРЕДЛ. Фрейм, соответствующий этой производящей функции, аналогичен фрейму, приведенному на рис. 1. В результате объектам СПУТ и ПО будет приписан тип  $\sigma\sigma$ , т. е. СПУТ:  $\sigma\sigma$ ; ПО:  $\sigma\sigma$ .

Отображению  $\varepsilon_{\sigma\sigma}$  поставим в соответствие гиперфрейм, изображенный на рис. 2. Аналогично построены гиперфреймы для всех рассмотренных выше отображений. Результатом работы анализатора на эпистемологическом уровне является построение фреймовой структуры входного предложения. Для нашего примера результирующая фреймовая структура приведена на рис. 3.

**Список литературы:** 1. Волфенгаген В. Э., Яцук В. Я. Вычислительная модель реляционной алгебры // Программирование. № 5. 1985. С. 64—76. 2. Шенк Р. Обработка концептуальной информации. М., 1980. 360 с. 3. Шаумян С. К. Аппликативная грамматика, как семантическая теория естественных языков. М., 1974. 201 с.

Поступила в редколлегию 06.06.90

## СОДЕРЖАНИЕ

Булкин В. И., Ситников Д. Э., Шабанов-Кушнарченко Ю. П., Шаронова Н. В. Математические модели межморфемных связей на множестве полисемантических производящих основ и словообразовательных суффиксов	3
Осыка А. Ф., Кравец О. А. К вопросу о формировании семантических признаков слов	8
Рябова Н. В. Моделирование семантики производных слов русского языка	17
Терзиян В. Я., Попков И. И. Формализация процесса устранения многозначности синтаксического разбора естественного языкового высказывания. Сообщение 1.	23
Терзиян В. Я., Попков И. И. Формализация процесса устранения многозначности синтаксического разбора естественного языкового высказывания. Сообщение 2	30
Кольцов А. В., Ситников Д. Э., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О декомпозиции уравнений алгебры конечных предикатов	36
Фролов Г. Д., Иванов А. А., Ярославцева Н. Н. Автоматическое фонемное сегментирование речевого сигнала	42
Корнейчук Т. Б., Фролов Г. Д., Чудина А. Ф. Система формальных правил для выделения главных членов предложения в исходном тексте	44
Войнов В. К., Литвиненко И. В., Невьянцева Н. А., Орач Ю. В., Усков В. Г. Об одном способе организации многоцелевого автоматизированного учебного курса по иностранному языку	53
Микитюк А. Н., Вайнер В. Г., Аннопольский Д. В., Рябчинская Е. М. Диалоговая тренажерная система экологического воспитания	58
Жих В. В. Анализ эквивалентности процессов диалогового общения на основе графовой модели сценария	66
Кополякко З. Д. Двухзначно-многозначные устройства внешнего обмена систем ИИ. Сообщение 2	71
Дидиченко Н. П. Процессы адаптации и случайный поиск	80
Самсонкин В. Н., Фисько И. М. О подходе к проектированию автоматизированной психофизиологической системы профессионального отбора машинистов	84
Смеляков С. В. Об одном подходе к регуляризации геометрических построений на ЦВМ	89
Ананин В. Ф. Моделирование механизма боли. Сообщение 1	95
Ананин В. Ф. Моделирование механизма боли. Сообщение 2	108
Вацьковский К. С. Об одной концепции создания банка методов	122
Колотенко Г. А. Модель анализа систем синхронных и асинхронных связей головного мозга в аспекте теории массового обслуживания	125
Радиевский А. Е. Учебно-методические аспекты адаптации человека-оператора	132
Филиппенко И. Г., Яценко Н. Ю. Семантико-синтаксический анализатор фраз естественного языка в системах преобразования текстовой информации в образную	137