



Далее, вводим *признак шумности звука*  $y_2$  со значениями ш — шумный, н — нешумный. Индивидуальные предикаты

$$\text{Сон}(x) = x^a \vee x^l \vee x^m \vee x^n \vee x^p,$$

$$\text{Шум}(x) = x^b \vee x^v \vee x^r \vee x^d \vee x^ж \vee x^з \vee x^к \vee x^п \vee x^c \vee x^т \vee x^ф \vee x^х \vee x^ц \vee x^ч \vee x^ш$$

формализуют понятия *сонорной* и *шумной согласной фонемы*. Имеет место соотношение

$$y_1^0 \supset y_2^{\text{ш}} \text{Сон}(x) \vee y_2^{\text{н}} \text{Шум}(x) = 1.$$

Введем теперь *признак вокализации звука*  $y_3$  со значениями з — звонкий, г — глухой. Индивидуальные предикаты

$$\text{Звн}(x) = x^b \vee x^v \vee x^r \vee x^d \vee x^ж \vee x^з \vee x^ц \vee x^ч,$$

$$\text{Глх}(x) = x^к \vee x^п \vee x^c \vee x^т \vee x^ф \vee x^х \vee x^ц \vee x^ч \vee x^ш$$

соответствуют понятиям *звонкой* и *глухой шумной согласной фонемы*. Имеет место соотношение

$$y_1^c y_2^{\text{ш}} \supset y_3^{\text{з}} \text{Звн}(x) \vee y_3^{\text{г}} \text{Глх}(x) = 1.$$

Наконец, вводим *признак смычности звука*  $y_4$  со значениями с — смычный, щ — щелевой. Индивидуальные предикаты

$$\text{Смч}(x) = x^b \vee x^r \vee x^d \vee x^к \vee x^п \vee x^т \vee x^ц \vee x^ч$$

$$\text{Щел}(x) = x^v \vee x^r \vee x^ж \vee x^з \vee x^ф \vee x^х \vee x^ш$$

формализуют понятия *смычной* и *щелевой шумной согласной фонемы*. Имеет место соотношение  $y_1^c y_2^{\text{ш}} \supset y_4^{\text{с}} \text{Смч}(x) \vee y_4^{\text{щ}} \text{Щел}(x) = 1$ .

Учитывая все введенные выше зависимости, можем записать уравнение, связывающее воедино фонему  $x$  с признаками  $y_1 \div y_4$ :

$$y_1^{\text{ш}} \text{Глс}(x) \vee y_1^{\text{н}} (y_1^{\text{ш}} \text{Сон}(x) \vee y_2^{\text{н}} (y_3^{\text{з}} (y_4^{\text{с}} \text{Смз}(x) \vee y_4^{\text{щ}} \text{Щлз}(x)) \vee y_3^{\text{г}} (y_4^{\text{с}} \text{Смч}(x) \vee y_4^{\text{щ}} \text{Щлг}(x)))) = 1. \quad (1)$$

Индивидуальные предикаты

$$\text{Смз}(x) = x^b \vee x^r \vee x^d \vee x^ц \vee x^ч,$$

$$\text{Щлз}(x) = x^v \vee x^r \vee x^ж \vee x^з$$

соответствуют понятиям *смычной* и *щелевой звонкой шумной согласной фонемы*, а предикаты

$$\text{Смч}(x) = x^к \vee x^п \vee x^т \vee x^ц \vee x^ч,$$

$$\text{Щлг}(x) = x^c \vee x^ф \vee x^х \vee x^ш$$

понятиям *смычной* и *щелевой глухой шумной согласной фонемы*.

Таким образом, признаки  $y_1 \div y_4$  делят все множество фонем на шесть классов: 1) гласные {а, е, ё, и, о, у, ы, э, ю, я}; 2) сонорные {й, м, л, н, р}; 3) смычные звонкие {б, г, д, ц, ч}; 4) щелевые звонкие {в, ж, з}; 5) смычные глухие {к, п, т,

ц, ч); б) щелевые глухие {с, ф, х, ш}. Фонема г, кроме смычного, имеет еще и щелевое звучание (бога). Фонемы ц и ч, кроме глухого, имеют также звонкое звучание (Гинц — бург, ключ забыл). Введем номер класса фонем  $z$  со значениями  $1 \div 6$  и функцию классов фонем  $z = f(y_1, y_2, y_3, y_4)$ . Согласно зависимости (1) эту функцию можно записать следующей системой равенств:

$$\begin{aligned} z^1 &= y_1^r, & z^2 &= y_1^c y_2^h, & z^3 &= y_1^c y_2^m y_3^c y_4^c, & z^4 &= y_1^c y_2^m y_3^a y_4^m, \\ z^5 &= y_1^c y_2^m y_3^r y_4^c, & z^6 &= y_1^c y_2^m y_3^r y_4^m. \end{aligned} \quad (2)$$

Расклассифицировать фонемы по этим классам не составляет большого труда, поскольку значения признаков  $y_1 \div y_4$  сравнительно легко извлекаются из осциллограммы звука. Разделить же фонемы внутри классов с помощью автоматически действующей аппаратуры гораздо труднее. Деление фонем в каждом из шести классов представляет собой самостоятельную задачу для исследования. Ниже математически описываются признаки, наиболее часто используемые фонетикой для деления фонем внутри выделенных нами классов, и связи между фонемами и этими признаками. Следует ожидать, что не во всех случаях удастся уверенно извлекать из осциллограмм звуков значения описываемых ниже признаков. Поэтому на приводимые ниже математические модели следует смотреть только как на необходимые, но не достаточные для деления фонем внутри перечисленных классов.

Займемся теперь разделением гласных фонем, для чего введем признаки  $y_5, y_6, y_7$ . Переменную  $y_5$  назовем *признаком веляризации звука* со значениями м — малая, с — средняя, б — большая. Гласные с малой веляризацией задаем индивидуальным предикатом  $Mвл(x) = x^a \vee x^e \vee x^o \vee x^y$ , гласные со средней веляризацией — предикатом  $Свл(x) = x^e \vee x^o$ , гласные с большой веляризацией — предикатом  $Бвл(x) = x^h \vee x^y \vee x^m \vee x^o$ . Имеем

$$z^1 \supset y_5^m Mвл(x) \vee y_5^c Свл(x) \vee y_5^b Бвл(x) = 1.$$

Переменную  $y_6$  назовем *признаком лабиализации звука* со значениями м — малая, с — средняя, б — большая. Гласные с малой лабиализацией задаем индивидуальным предикатом

$$Mлб(x) = x^a \vee x^e \vee x^h \vee x^m \vee x^y \vee x^o,$$

гласные со средней лабиализацией — предикатом  $Слб(x) = x^e \vee x^o$ , гласные с большой лабиализацией — предикатом  $Блб(x) = x^y \vee x^o$ . Имеем

$$z^1 \supset y_6^m Mлб(x) \vee y_6^c Слб(x) \vee y_6^b Блб(x) = 1.$$

Переменную  $y_7$  назовем *признаком палатализации звука* со значениями т — твердая, м — мягкая. Твердые гласные задаем индивидуальным предикатом  $Tгл(x) = x^a \vee x^o \vee x^y \vee x^m \vee x^y$ , мяг-

кие гласные — предикатом  $M_{гл}(x) = x^e \vee x^{\bar{e}} \vee x^h \vee x^o \vee x^a$ . Имеем  $z^1 \supset y_7^T T_{гл}(x) \vee y_7^M M_{гл}(x)$ .

Учитывая все введенные выше зависимости, можем записать уравнение, связывающее воедино фонему  $x$  с признаками  $y_5 \div y_7$ :

$$z^1 \supset y_5^M (y_6^M (y_7^1 x^a \vee y_7^M x^{\bar{a}} \vee y_6^{\bar{b}} (y_7^T x^h \vee y_7^M x^h)) \vee y_5^{\bar{c}} (y_7^T x^o \vee y_7^M x^{\bar{o}}) \vee y_5^{\bar{c}} (y_7^T x^y \vee y_7^M x^{\bar{y}}) \vee y_6^{\bar{a}} (y_7^T x^{\bar{a}} \vee y_7^M x^{\bar{c}}) = 1. \quad (3)$$

Зависимость (3) разделяет множество гласных на отдельные фонемы, это дает нам право при  $z = 1$  ввести функцию  $x = g_1(y_5, y_6, y_7)$ , записываемую в виде следующей системы равенств:  $x^a = y_5^M y_6^M y_7^T$ ,  $x^{\bar{a}} = y_5^{\bar{c}} y_6^M$ ,  $x^{\bar{e}} = y_5^{\bar{c}} y_7^M$ ,  $x^h = y_5^M y_6^{\bar{b}} y_7^M$ ,  $x^o = y_5^{\bar{c}} y_7^T$ ,  $x^y = y_5^{\bar{c}} y_7^T$ ,  $x^{\bar{a}} = y_5^M y_6^{\bar{b}} y_7^T$ ,  $x^{\bar{y}} = y_6^{\bar{a}} y_7^T$ ,  $x^{\bar{c}} = y_5^{\bar{c}} y_7^M$ ,  $x^{\bar{c}} = y_5^M y_6^{\bar{b}} y_7^M$  (4).

Функцию  $g_1$  назовем функцией гласных фонем, эта функция представлена табл. 1. На рис. 1 представлено трехмерное про-

Таблица 1

$y_5$		м	с	б
$y_6$	б	—	—	у
	а	о	—	—
	м	а	э	ы

$y_7 = T$

$y_5$		м	с	б
$y_6$	б	—	—	ю
	с	ё	—	—
	м	я	е	и

$y_7 = M$

странство признаков, в нем точками изображены гласные фонемы. Геометрическое расстояние между точками приблизительно характеризует удаленность фонем друг от друга при восприятии на слух. Различные фонемы, принимаемые ухом на одной и той же позиции текста, обычно отстоят друг от друга не более, чем на единицу расстояния [1].

Перейдем к разделению сонорных согласных. Для этого нам понадобятся признаки  $y_8, y_9, y_{10}$ . Переменную  $y_8$  назовем *признаком назализации* звука со значениями р — ртовый, н — носовой. *Ртовые сонорные согласные* задаем индивидуальным предикатом  $P_{сн}(x) = x^{\bar{a}} \vee x^{\bar{y}} \vee x^{\bar{c}}$ , *носовые сонорные согласные* — предикатом  $H_{сн}(x) = x^{\bar{a}} \vee x^{\bar{y}}$ . Имеем  $z^2 \supset y_8^P P_{сн}(x) \vee y_8^H H_{сн}(x) = 1$ .

Переменную  $y_9$  назовем *признаком вибрантности* звука со значениями с — спокойный, д — дрожащий. *Спокойные сонорные согласные* задаем предикатом  $S_{сн}(x) = x^{\bar{a}} \vee x^{\bar{y}} \vee x^{\bar{c}} \vee x^{\bar{h}}$ , к *дрожащим сонорным согласным* относим фонему р. Связь между фонемой  $x$  и признаком  $y_9$  задаем уравнением

$$z^2 \supset y_9^S S_{сн}(x) \vee y_9^D x^p.$$

Перемешивание  $y_{10}$  назовем признаком места артикуляции звука со значениями г — губной, п — переднеязычный, с — среднеязычный, з — заднеязычный. Последнее значение признака  $y_{10}$  при разделении сонорных фонем не используется, однако оно понадобится нам для разделения шумных фонем. К губным сонорным фонем относим м, переднеязычные сонорные фонемы задаем предикатом  $\text{Псн}(x) = x^r \vee x^h \vee x^p$ , к среднеязычным относим фонемы й. Таким образом,

$$z^2 \supset y_{10}^r x^m \vee y_{10}^p \text{Псн}(x) \vee y_{10}^c x^h = 1.$$

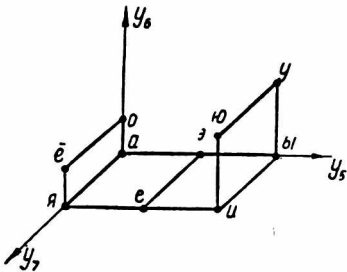


Рис. 1

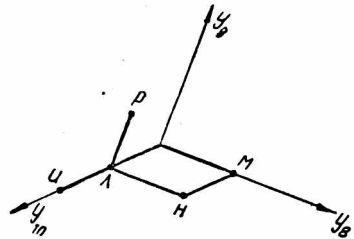


Рис. 2

Учитывая введенные зависимости, приходим к уравнению, связывающему фонему  $x$  с признаками  $y_8 \div y_{10}$ :

$$z^2 \supset y_{10}^c x^h \vee y_8^p y_{10}^p x^r \vee y_8^h (y_{10}^r x^m \vee y_{10}^p x^h) \vee y_9^d x^p = 1. \quad (5)$$

Зависимость (5) разделяет множество сонорных фонем на отдельные фонемы. Полагая  $z = 2$ , приходим к функции  $x = g_2(y_8, y_9, y_{10})$ , записываемой следующей системой равенств:

$$x^h = y_{10}^c, \quad x^r = y_8^p y_{10}^p, \quad x^m = y_8^h y_{10}^r, \quad x^h = y_8^h y_{10}^p, \quad x^p = y_9^d. \quad (6)$$

Функцию  $g_2$  назовем функцией сонорных фонем, она представлена табл. 2. На рис. 2 изображено трехмерное пространство призна-

Таблица 2

$y_8$	д	с
р	—	—
н	—	м

$y_{10} = \text{г}$

$y_8$	д	с
р	р	л
н	—	н

$y_{10} = \text{п}$

$y_8$	д	с
р	—	й
н	—	—

$y_{11} = \text{с}$

ков, в котором точками указаны сонорные фонемы. Геометрическое расстояние между точками приблизительно характеризует удаленность фонем друг от друга при восприятии на слух.

Для разделения шумных согласных используем введенный ранее признак  $y_{10}$ . Губные шумные фонемы задаем индивидуальным предикатом  $\text{Гшф}(x) = x^b \vee x^v \vee x^c \vee x^f$ , переднеязычные шум-

ные фонемы — предикатом  $\Gamma\text{шф}(x) = x^{\text{д}} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{з}} \vee x^{\text{с}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}} \vee x^{\text{ш}}$ , заднеязычные фонемы — предикатом  $\text{Зяф}(x) = x^{\text{г}} \vee x^{\text{к}} \vee x^{\text{х}}$ .

Таким образом,  $y_2^{\text{ш}} \supset y_{10}^{\text{г}} \Gamma\text{шф}(x) \vee y_{10}^{\text{к}} \Gamma\text{шф}(x) \vee y_{10}^{\text{х}} \text{Зяф}(x) = 1$ .

Множество переднеязычных шумных фонем {д, ж, з, с, т, ц, ч, ш} разделим на два класса с помощью переменной  $y_{11}$  со значениями з — зубные, н — небные, называемой признаком локализации звука. Зубные переднеязычные шумные фонемы задаем индивидуальным предикатом  $\text{Зпш}(x) = x^{\text{д}} \vee x^{\text{з}} \vee x^{\text{с}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}}$ , небные переднеязычные шумные фонемы — предикатом  $\text{Нпш}(x) = x^{\text{ж}} \vee x^{\text{ш}}$ . В принятой нами классификации фонемы д и т допускают два варианта произношения — «зубное» и «небное». Имеем

$$y_2^{\text{ш}} y_{10}^{\text{п}} \supset y_{11}^{\text{з}} \text{Зпш}(x) \vee y_{11}^{\text{н}} \text{Нпш}(x) = 1.$$

То же множество переднеязычных шумных фонем разделим другим способом с помощью признака аффрикации звука  $y_{12}$  со значениями а — аффриката, н — неаффриката. Аффрикаты задаем индивидуальным предикатом  $\text{Афф}(x) = x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}}$ , переднеязычные шумные неаффрикаты — предикатом  $\text{Пнш}(x) = x^{\text{д}} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{з}} \vee x^{\text{с}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ш}}$ . Таким образом,

$$y_2^{\text{ш}} y_{10}^{\text{п}} \supset y_{12}^{\text{а}} \text{Афф}(x) \vee y_{12}^{\text{н}} \text{Пнш}(x) = 1.$$

Введенных признаков достаточно для разделения на отдельные фонемы оставшихся четырех классов фонем. Это разделение регулируется следующими уравнениями:

$$z^3 \supset y_{10}^{\text{г}} x^{\text{б}} \vee y_{10}^{\text{з}} x^{\text{г}} \vee y_{10}^{\text{п}} (y_{11}^{\text{з}} (y_{12}^{\text{а}} x^{\text{д}} \vee y_{12}^{\text{н}} x^{\text{ц}}) \vee y_{11}^{\text{н}} x^{\text{ж}}) = 1, \quad (7)$$

$$z^4 \supset y_{10}^{\text{к}} x^{\text{б}} \vee y_{10}^{\text{х}} x^{\text{г}} \vee y_{10}^{\text{п}} (y_{11}^{\text{з}} x^{\text{з}} \vee y_{11}^{\text{н}} x^{\text{ж}}) = 1, \quad (8)$$

$$z^5 \supset y_{10}^{\text{п}} x^{\text{п}} \vee y_{10}^{\text{к}} x^{\text{к}} \vee y_{10}^{\text{х}} (y_{11}^{\text{з}} (y_{12}^{\text{а}} x^{\text{т}} \vee y_{12}^{\text{н}} x^{\text{ч}}) \vee y_{11}^{\text{н}} x^{\text{ш}}) = 1, \quad (9)$$

$$z^6 \supset y_{10}^{\text{г}} x^{\text{ф}} \vee y_{10}^{\text{х}} x^{\text{х}} \vee y_{10}^{\text{п}} (y_{11}^{\text{з}} x^{\text{с}} \vee y_{11}^{\text{н}} x^{\text{ш}}) = 1. \quad (10)$$

Зависимость (7) при условии  $z = 3$  вводит функцию смычных звонких фонем  $x = g_3(y_{10}, y_{11}, y_{12})$ , разделяющую на отдельные фонемы третье множество фонем. Она описывается следующей системой равенств:

$$x^{\text{б}} = y_{10}^{\text{г}}, \quad x^{\text{г}} = y_{10}^{\text{з}}, \quad x^{\text{д}} = y_{10}^{\text{п}} y_{11}^{\text{з}} y_{12}^{\text{а}}, \quad x^{\text{ц}} = y_{10}^{\text{п}} y_{11}^{\text{з}} y_{12}^{\text{н}}, \quad x^{\text{ж}} = y_{10}^{\text{п}} y_{11}^{\text{н}}. \quad (11)$$

Таблица 3

		$y_{10}$				
		г	з	п		$y_{11}$
$g_3$		б	г	ц	д	з
				ч	ш	н
				$y_{12}$	а	н

		$y_{10}$				
		г	з	п		$y_{11}$
$g_4$		в	г	з		з
				ж		н

		$y_{10}$				
		г	з	п		$y_{11}$
$g_5$		п	к	ц	т	з
				ч	ш	н

		$y_{10}$		$y_{12}$		
		г	з	п		$y_{11}$
$g_6$		ф	х	с		з
				ш		н

Зависимость (8) при условии  $z = 4$  вводит функцию щелевых звуков фонем  $x = g(y_{10}, y_{11})$ , разделяющую четвертое множество:  $x^B = y_{10}^r$ ,  $x^P = y_{10}^s$ ,  $x^S = y_{10}^p y_{11}^s$ ,  $x^Ж = y_{10}^p y_{11}^h$  (12). Зависимость (9) при условии  $z = 5$  задает функцию смычных глухих фонем  $x = g_5(y_{10}, y_{11}, y_{12})$ , разделяющую пятое множество:  $x^П = y_{10}^p$ ,  $x^K = y_{10}^s$ ,  $x^Т = y_{10}^p y_{11}^s y_{12}^h$ ,  $x^Ц = y_{10}^p y_{11}^s y_{12}^a$ ,  $x^Ч = y_{10}^p y_{11}^h$  (13). Зависимость (10) при условии  $z = 6$  задает функцию щелевых глухих фонем  $x = g_6(y_{10}, y_{11})$ , разделяющую шестое множество:  $x^Ф = y_{10}^r$ ,  $x^Х = y_{10}^s$ ,  $x^С = y_{10}^p y_{11}^s$ ,  $x^Ш = y_{10}^p y_{11}^h$  (14). В табл. 3 приведены значения функций  $g_3 \div g_6$ .

Список литературы: 1. Маленченко З. Ю., Прасол Г. А. О моделировании связей между звуковой и текстовой формами речевого сообщения. — Пробл. бионики, 1983, вып. 31, с. 29 — 37. 2. Шабанов-Кушнаренок Ю. П. О теории интеллекта. — Пробл. бионики, 1979, вып. 22, с. 3 — 11.

Поступила в редколлегию 29.03.81