

## ОБ ОДНОЙ ОСОБЕННОСТИ РАЗБОРЧИВОСТИ ФОРМАНТ

М. А. Сапожков

Определяется, что вероятность восприятия формант (разборчивость формант) прямо пропорциональна произведению величин среднего динамического диапазона речи по входу тракта и частотного диапазона, пропускаемого трактом передачи речи, и обратно пропорциональна длительности времени, требующегося для полного понимания передаваемой речи.

Не подлежит сомнению то, что определяющим критерием оценки понятности передаваемой речи является величина разборчивости речи. В настоящее время в качестве основного вида разборчивости одни принимают смысловую разборчивость, другие — словесную, третьи — слоговую и четвертые — звуковую, т. е. по существу выбор основного вида разборчивости произволен. Если к этому добавить, что величина каждого из этих видов разборчивости определяется артикуляционным методом, т. е. при помощи хорошо тренированной бригады, то получаемые при измерении величины разборчивости хотя и характеризуют качество тракта, но не дают возможности непосредственно оценить эксплуатационные характеристики последнего. Если, например, повысить слоговую разборчивость тракта с 50 до 65 %, то можно сказать, что качество передачи речи из удовлетворительного станет хорошим; однако трудно сказать, какие эксплуатационные преимущества даст такое повышение разборчивости.

Одной из основных эксплуатационных характеристик трактов передачи речи является пропускная способность тракта, точнее время, необходимое для передачи определенного объема текста при условии полного понимания этой передачи. Очевидно, чем ниже качество передачи речи, тем большее время требуется для полного понимания ее.

Статистическим путем можно найти связь между любым из видов разборчивости и пропускной способностью тракта; однако при этом следует иметь в виду возможную точность оценки. Например, известно [1], что смысловая разборчивость, равная 99 %, соответствует хорошему качеству передачи, а равная 98 % — удовлетворительному, вследствие чего трудно оценить качество тракта по смысловой разборчивости. Более пригодны в этом отношении слоговой и звуковой вид разборчивости, один из которых (звуковой) более приемлем при плохой разборчивости, а второй — при хорошей [2].

Есть еще один вид разборчивости — разборчивость формант, которую следовало бы называть вероятностью восприятия формант\*. Покажем, что этот вид разборчивости наиболее показателен и имеет преимущества перед остальными видами разборчивости.

Разборчивость формант определяется законами распределения вероятностей формант по частотному и динамическому диапазонам речи, а именно

$$A = \int_{m(f_1)}^{m(f_2)} W(E_{\text{пик}}) dm(f), \quad (1)$$

где  $m(f_k)$  — интегральная вероятность формант в диапазоне  $0 \div f_k$ ,  $dm(f)$  — плотность вероятности формант на частоте  $f$ ,  $W(E_{\text{пик}})$  — интегральная

\* По терминологии, принятой в США, эта величина называется индексом артикуляции.

вероятность формант с уровнями интенсивности от порога слышимости в заданных условиях до пикового, т. е. с уровнями ощущения формант от нуля до  $E_{\text{пик}}^*$  (иногда эта величина называется коэффициентом разборчивости).

Следовательно, разборчивость формант интерпретируется площадью, ограниченной пиковым уровнем интенсивности формант, принятым за нулевой уровень, и кривой частотной зависимости уровня интенсивности на пороге слышимости относительно нулевого уровня. При этом частоты и уровни по ординате должны быть отложены в масштабе равномерной плотности вероятности (см. фигуру).

Из исследований русской и английской речи [2] и [3] известно, что в основном диапазоне частот (300—3000 гц) плотность вероятности формант в зависимости от частоты изменяется не более, чем в 2—2½ раза. Например, ширина полос равной разборчивости для русской речи [2] находится в пределах 150—300 гц. Ввиду этого с достаточной для практики степенью точности можно положить плотность вероятности формант, независимой от частоты, т. е. считать, что

$$A = \frac{1}{F_0} \int_{f_1}^{f_2} W(E_{\text{пик}}) df, \quad (2)$$

где  $F_0$  — ширина частотного диапазона речи при условии равномерной плотности вероятности формант,  $F_0 \approx 3500$  гц.

Из тех же исследований известно, что для широкого диапазона уровней ощущения формант интегральная вероятность  $W(E_{\text{пик}})$  связана линейно с уровнем ощущения, а именно:

$$W(E_{\text{пик}}) = \frac{E_{\text{пик}} - \Delta E}{E_0}, \quad (3)$$

где  $\Delta E$  и  $E_0$  — постоянные для данной речи (для русской и английской речи  $\Delta E = 6$  дб,  $E_0 = 30$  дб). Поскольку, согласно теории разборчивости речи, пиковый уровень ощущения формант

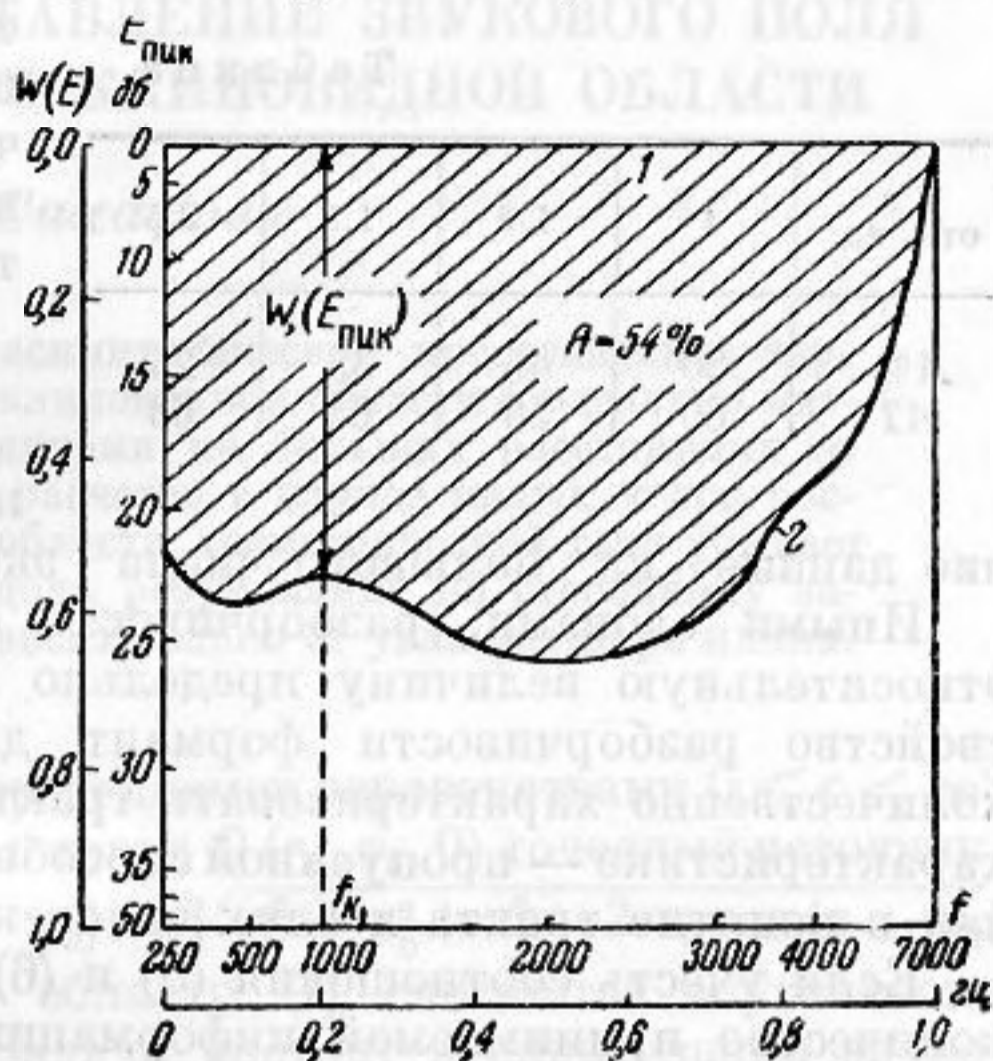
$$E_{\text{пик}} = B'_{\text{р пик}} - B' = D, \quad (4)$$

где  $B'_{\text{р пик}}$  — пиковый уровень спектра речи на входе тракта,  $B'$  — уровень спектра помех, приведенный ко входу тракта (для сложных спектров помех он представляет эквивалентный по маскирующему действию уровень помех со сплошным равномерным спектром [4]),  $D$  — эффективный динамический диапазон речи по входу тракта, то, учитывая (4) и (3), из (2) получаем

$$A = \frac{1}{E_0 F_0} \int_{f_1}^{f_2} (D - \Delta E) df \approx k_1 D_{\text{ср}} F, \quad (5)$$

где  $D_{\text{ср}}$  — средняя величина эффективного динамического диапазона речи по входу тракта,  $F$  — ширина пропускаемого трактом частотного диапазона речи,  $1/k_1 = E_0 F_0 = 1,08 \cdot 10^5$  дб·гц.

\* Согласно ряду исследований [2, 3, 4],  $W(E)$  практически не зависит от частоты.



1 — пиковый уровень речи, принятый за нулевой; 2 — кривая порога слышимости относительно пикового уровня речи; заштрихована область слухового восприятия речи; вероятность восприятия равна 54%

Итак, величина формантной разборчивости в условиях практики с достаточной степенью точности определяется произведением ширины частотного диапазона (в герцах) и средней величины эффективного динамического диапазона речи (в децибеллах).

Это свойство разборчивости формант выгодно отличает ее от других видов разборчивости.

Статистические исследования зависимости между величиной разборчивости речи и временем  $T$ , необходимым для полного понимания всего объема

Т а б л и ц а

$T$ в отн. ед.	1	1,3	1,8	2,5
$A\%$	60	45	35	25
$AT$	60	59	63	63

ее, в самых разнообразных условиях передачи речи показали, что величина разборчивости формант обратно пропорциональна этому времени, т. е. что

$$AT \approx \text{const.} \quad (6)$$

Для иллюстрации этого положения в таблице приводятся средние данные из большого числа экспериментальных исследований.

Иными словами, разборчивость формант представляет своего рода относительную величину предельно возможной скорости передачи. Это свойство разборчивости формант дает непосредственную возможность количественно характеризовать тракт по его основной эксплуатационной характеристике — пропускной способности тракта речевой передачи, включая в понятие тракта и слух человека.

Если учесть соотношения (5) и (6), то получается интересный вывод: количество принимаемой информации прямо пропорционально произведению пропускаемых трактом частотного и динамического диапазонов и времени передачи

$$J \approx k_1 D_{cp} Ft. \quad (7)$$

В заключение следует указать на то, что при помощи тонального метода разборчивость формант в большинстве практических случаев легко может быть измерена непосредственно без использования тренированных артикуляционных бригад [5].

Конечно, в некоторых случаях необходимо применение артикуляционного метода измерения разборчивости речи. Однако в силу соотношения (6) и в этих случаях оценку тракта выгодно производить по разборчивости формант, определяемой по соответствующим графикам взаимозависимости между различными видами разборчивости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ю. Гурбанов. О применении различных видов артикуляции для экспериментального определения разборчивости передачи речи через телефонные и радиотелефонные тракты. Тр. ВКИАС, 1953, 35, 3—40.
2. Н. Б. Покровский, А. Ф. Белецкий, Е. Ю. Гурбанов и др. Расчет и измерение разборчивости русской речи. Тр. ВКИАС, 1952, 33, 3—159.
3. N. French, J. Steinberg. Factor governing the intelligibility of speech sounds. J. Acoust. Soc. America, 1947, 19, 1, 90—119.
4. Ю. С. Быков. Теория разборчивости речи в линиях связи. Оборониздат, 1954, 109—140.
5. А. Д. Ткаченко. Тональный метод измерения разборчивости речи, передаваемой трактами связи. Акуст. ж., 1955, 1, 2, 171—180.

г. Мытищи

Поступила в редакцию  
5 июня 1958 г.