АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XIX 1973 Вып. 3

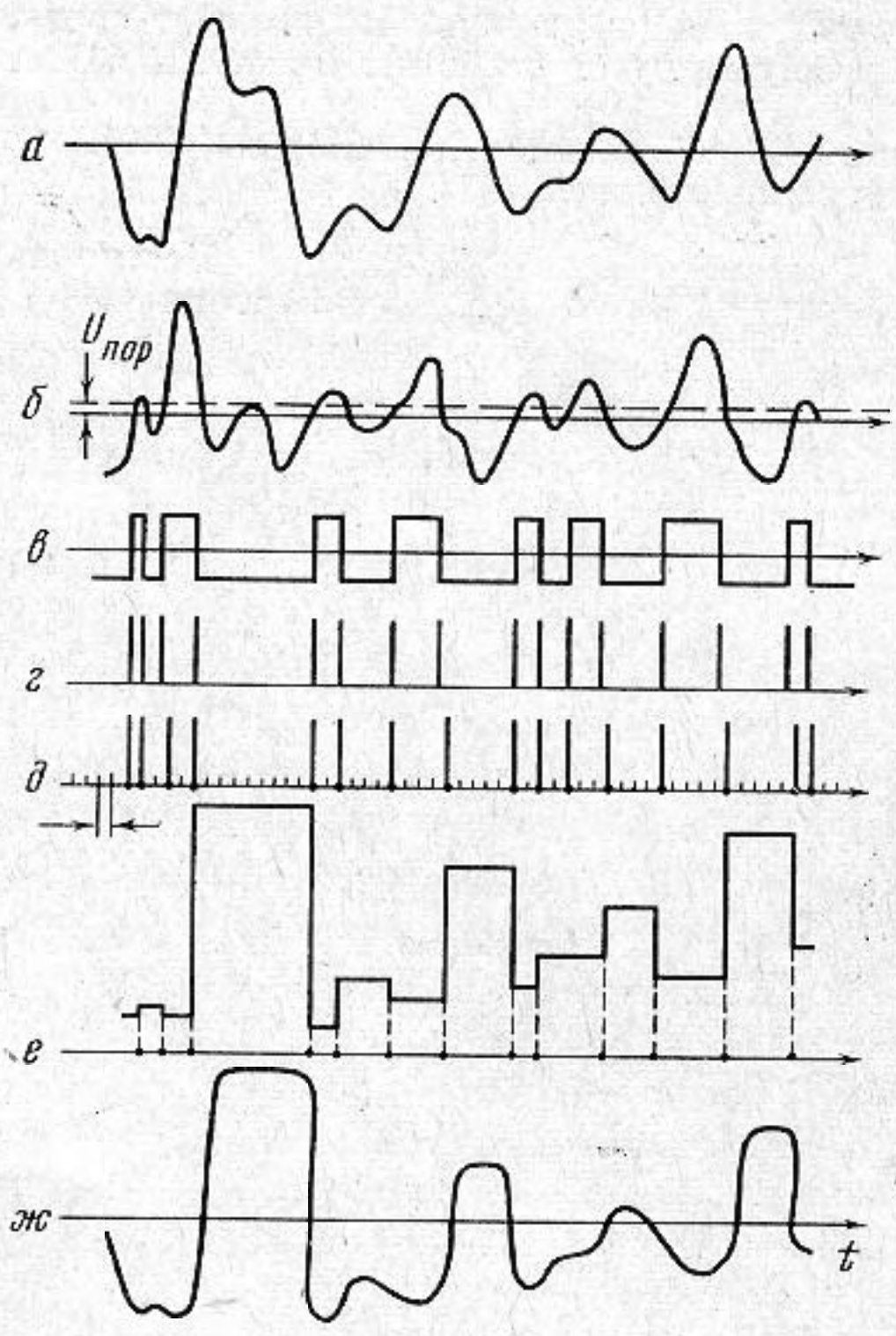
УДК 534.78

ИССЛЕДОВАНИЕ АРТИКУЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСТРЕМАЛЬНО-КОДИРОВАННОЙ РЕЧИ

Н. И. Козленко, Р. Н. Рыжкова

Приводятся результаты экспериментальных исследований разборчивости экстремально-кодированной речи при изменяемом пороге ограничения для различных частот квантования экстремумов по времени. Даны зависимости звуковой разборчивости экстремально-кодированной речи от вероятности искажений экстремумов.

В некоторых системах радиосвязи [1], использующих для передачи сообщений дискретные сигналы, уровень взаимных помех в значительной степени зависит от числа излучаемых импульсов. В системах радиосвязи, использующих для передачи сообщений аналоговые сигналы, эффективность во многом определяется пик-фактором аналогового сигнала.

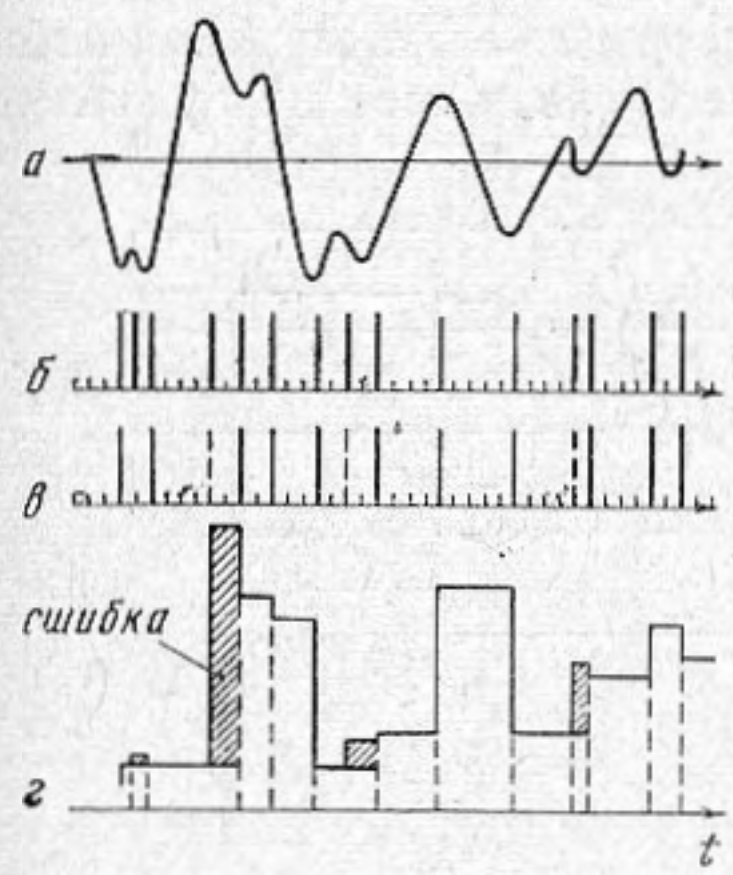


Фиг. 1

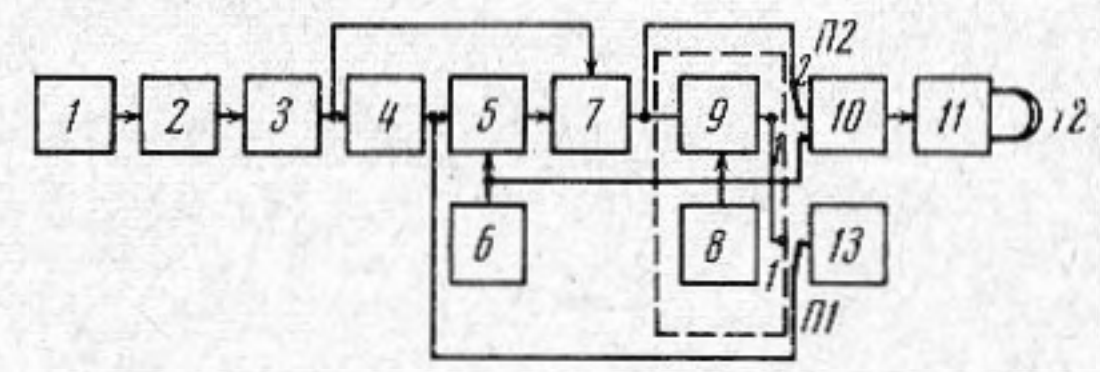
Для снижения уровня взаимных помех в дискретных системах связи и для повышения эффективности аналоговых систем путем уменьшения пик-фактора часто используют клиппирование речи [2]. Однако клиппированные речевые сигналы обладают существенным недостатком: они не обеспечивают достаточно высокого качества воспроизведенной речи. Одним из путей повышения качества клиппированной речи является передача экстремальных значений речевого сигнала. Такой метод передачи получил название экстремального кодирования речи [3].

На фиг. 1 показан процесс преобразования речевого сигнала при экстремальном кодировании. Исходный речевой сигнал (фиг. 1, *а*) дифференцируется (фиг. 1, *б*), а затем подвергается глубокому амплитудному ограничению путем сравнения с порогом $U_{пор}$ (фиг. 1, *б*). В результате образуется клиппированный сигнал (фиг. 1, *в*), из которого путем дифференцирования и двухполупериодного выпрямления формируются короткие импульсы (фиг. 1, *г*) в моменты времени, соответствующие нулевым переходам сигнала (фиг. 1, *в*), или моментам появления экстремальных значений в исходном речевом сигнале

(фиг. 1, *а*). Поток коротких импульсов (фиг. 1, *г*) квантуется по времени с частотой квантования $f_{кв} = 1 / T$, в результате образуется дискретная импульсная последовательность (фиг. 1, *д*). Импульсы (фиг. 1, *д*) модулируются по амплитуде исходным речевым сигналом (фиг. 1, *а*), а их длительность увеличивается до значения, равного интервалу времени между соседними экстремумами. Полученный таким образом экстремально-кодированный сигнал (фиг. 1, *е*) в процессе фильтрации преобразуется в сигнал (фиг. 1, *ж*), который подается слушателю. Сравнивая исходный речевой сигнал (фиг. 1, *а*) с экстремально-кодированным (фиг. 1, *ж*), можно отметить, что при экстремальном кодировании сохраняется динамика исход-



Фиг. 2



Фиг. 3

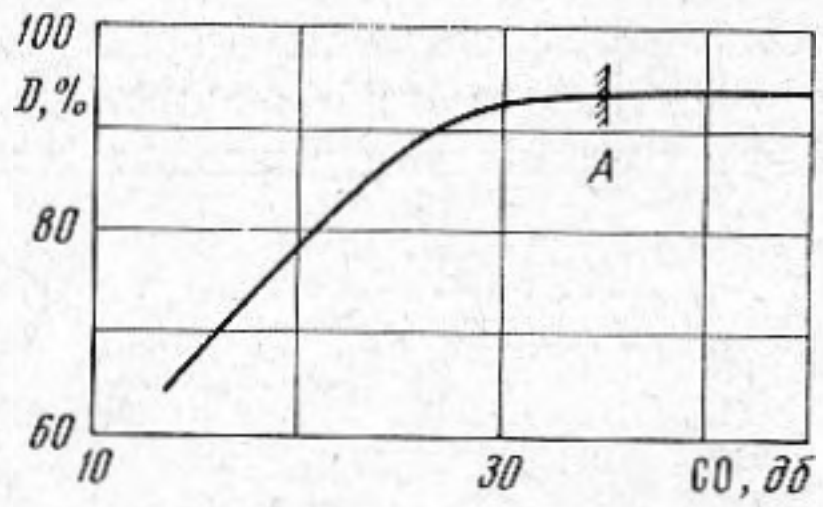
ного речевого сигнала. Поэтому качество экстремально-кодированной речи должно быть выше, чем качество клиппированной речи.

Формирование импульсов (фиг. 1, *г*), моменты появления которых соответствуют моментам экстремумов исходного сигнала (фиг. 1, *а*), всегда сопровождается возникновением шумов в паузах речи вследствие большого усиления. Это в значительной степени увеличивает загрузку канала, так как в паузах речи излучаются импульсы, соответствующие экстремумам шумов. Чтобы устранить излучение импульсов в паузах полагают $U_{пор} \neq 0$. При $U_{пор} \neq 0$ передаются не все экстремальные значения, поэтому возникает необходимость исследования влияния величины порога $U_{пор}$ на качество и разборчивость экстремально-кодированной речи.

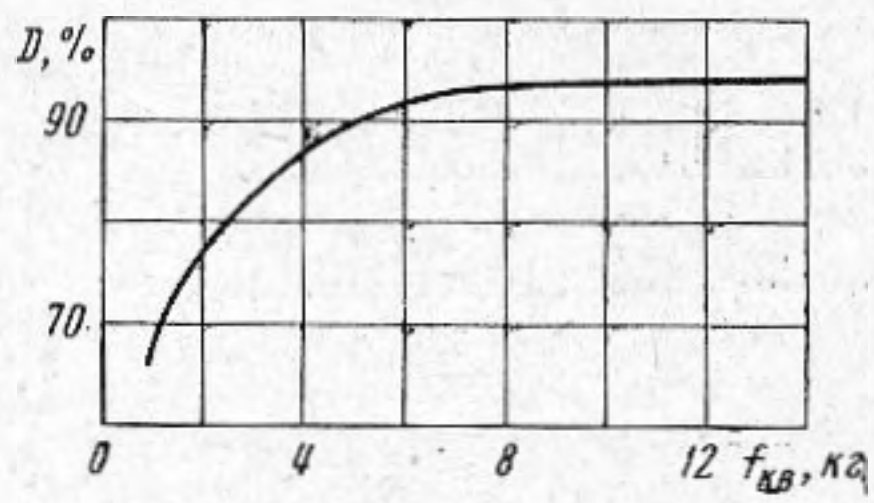
При передаче экстремально-кодированной речи по каналу связи возможны ошибки при приеме. Фиг. 2 иллюстрирует процесс влияния хаотических пропаданий экстремумов на восстановленный сигнал. Исходному сообщению (фиг. 2, *а*) при экстремальном кодировании соответствует импульсная последовательность (фиг. 2, *б*). На фиг. 2, *в* пунктиром показаны местоположения пропавших импульсов, а на фиг. 2, *г* — соответствующий этим импульсам экстремально-кодированный сигнал. Пропадание импульсов приводит к значительным искажениям сигнала (фиг. 2, *г*). Поэтому возникает необходимость исследования зависимости разборчивости экстремально-кодированной речи от вероятности искажений экстремумов. Ниже приводятся результаты экспериментального исследования экстремально-кодированной речи, проведенные на лабораторном макете, блок-схема которого представлена на фиг. 3. Речевой сигнал с выхода источника речевого сигнала *1* (фиг. 3), в качестве которого использовался магнитофон, поступает на аттенюатор *2*, с помощью которого осуществляется регулирование уровня речевого сигнала, поступающего на фильтр *3* с полосой 300—3300 *гц*. С выхода фильтра сигнал (фиг. 1, *а*) поступает на выделитель экстремальных значений *4* (фиг. 3), который является основным блоком системы. Выделитель *4* выполняет следующие функции: дифференцирует речевой сигнал (фиг. 1, *б*), ограничивает его (фиг. 1, *в*) и формирует последовательность коротких импульсов (фиг. 1, *г*). Квантование импульсов (фиг. 1, *г*) осуществляется с помощью квантователя *5*, управляемого от генератора импульсов частоты квантования *6*. Генера-

тор *6* позволяет плавно изменять частоту следования импульсов от 100 *гц* до 30 *кгц*. С выхода квантователя импульсный поток положительной полярности, одинаковой амплитуды и длительности, привязанный по времени к тактовым точкам, поступает на амплитудно-импульсный модулятор *7*. На второй вход модулятора с выхода фильтра *3* поступает речевой сигнал.

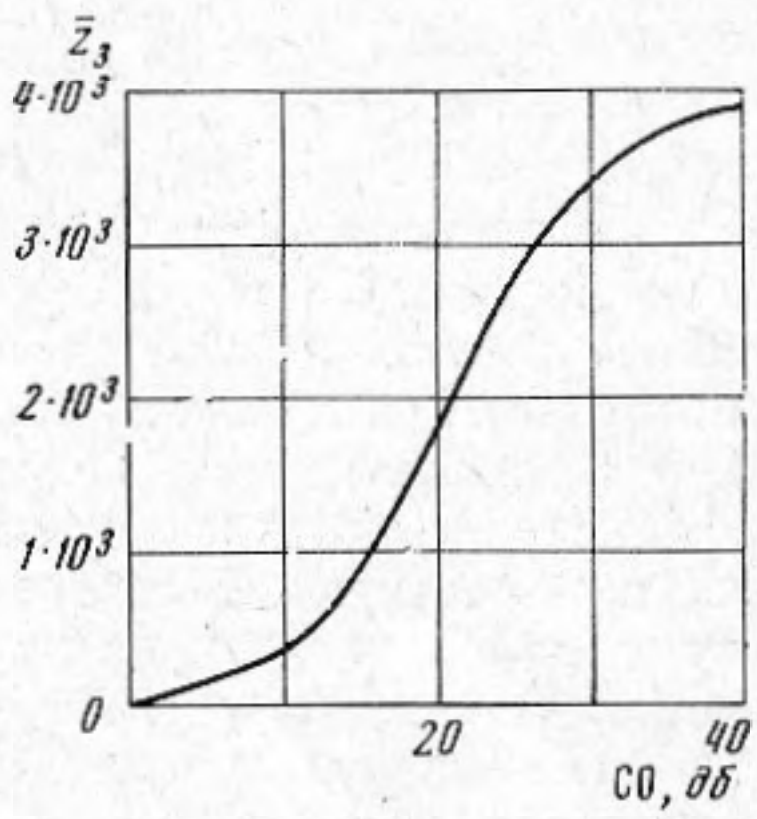
С выхода модулятора положительные импульсы с амплитудами, равными значениям экстремумов, поступают непосредственно на накопитель или на имитатор канала связи. Имитатор канала связи состоит из генера-



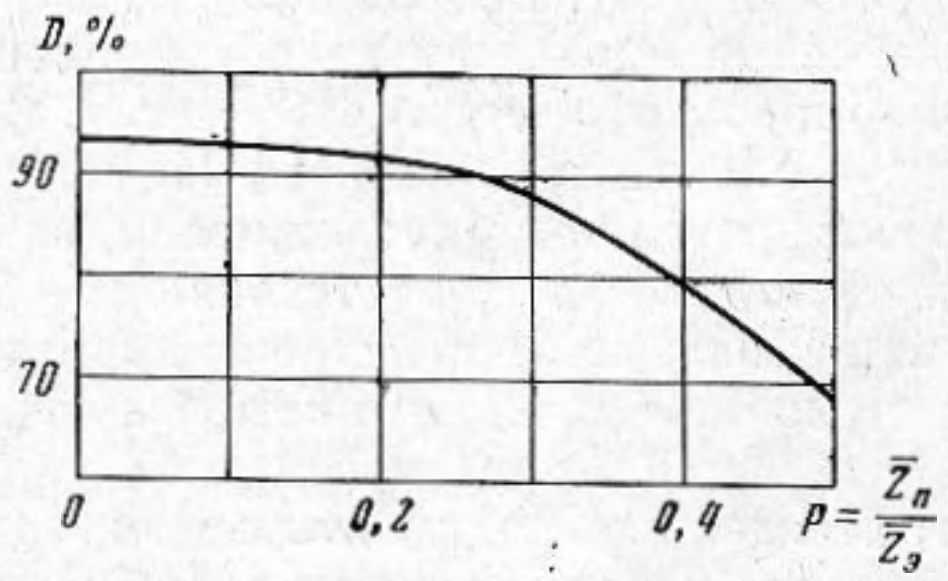
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

тора шумового сигнала *8* и схемы запрета экстремумов *9*. В накопителе *10* происходит удлинение по времени предыдущего импульса до прихода последующего (фиг. 1, *е*). Накопитель может управляться импульсами непосредственно с выхода квантователя или от генератора *6*. При этом накопитель работает в таком режиме, что если на одном из его входов (сигнальном или управляющем) отсутствует импульс, то амплитуда импульса на выходе накопителя сохраняется равной амплитуде предшествующего сигнального импульса. С выхода накопителя *10* сигнал (фиг. 1, *е*) после прохождения через фильтр *11* подается на телефоны *12* для прослушивания. В лабораторном макете было предусмотрено также измерение математического ожидания числа экстремумов. Для этого с выхода выделителя экстремумов *4* импульсы (фиг. 1, *г*) поступают на счетчик импульсов через переключатель $П_1$. Время счета импульсов в процессе экспериментов было установлено равным 5 *мин*, чтобы исключить влияние нестационарности речевого сигнала. При положении 1 переключателя $П_2$ включается имитатор канала связи, который осуществляет случайные пропадания экстремумов. С помощью счетчика *13* измерялось математическое ожидание числа оставшихся экстремумов на выходе схемы запрета экстремумов *9* и, учитывая исходное число экстремумов, вычислялось математическое ожидание числа пропавших экстремумов $\bar{z}_п$. За вероятность пропадания принималось отношение математического ожидания числа пропав-

ших экстремумов к математическому ожиданию числа передаваемых экстремумов $\bar{z}_э$, т. е. $P = \bar{z}_n / \bar{z}_э$.

Экспериментальное исследование артикуляционных характеристик экстремально-кодированной речи было проведено в соответствии с методикой, изложенной в работе [4]. Результаты экспериментов приведены в виде графиков на фиг. 4—7.

На фиг. 4 приведена зависимость разборчивости экстремально-кодированной речи от степени ограничения экстремумов при частоте квантования $f_{кв} = 14$ *кгц*; при $f_{кв} \geqslant 14$ *кгц* качество практически не изменяется.

В качестве параметра при опытах была выбрана степень ограничения $СО = 20 \lg U_{э\,max} / U_{пор}$, где $U_{э\,max}$ — максимальное значение экстремумов при вероятности появления 1—2%, $U_{пор}$ — порог обрабатывания выделителя экстремумов, а также A — граница, выше которой разборчивость и качество экстремально-кодированной речи не зависят от СО.

На фиг. 5 приведена зависимость звуковой разборчивости от частоты квантования при СО = 40 *дб*, на фиг. 6 — зависимость математического ожидания числа экстремумов от степени ограничения и на фиг. 7 — зависимость звуковой разборчивости от вероятности случайных пропаданий экстремумов P, СО = 40 *дб*, $f_{кв} = 14$ *кгц*.

В результате опытов было установлено, что при степени ограничения экстремумов СО $\geqslant$ 35 *дб* разборчивость и качество экстремально-кодированной речи практически не изменяются (фиг. 4). Однако если допустить незначительное снижение разборчивости, порядка 1—2%, то степень ограничения можно уменьшить до 28—30 *дб*. При $f_{кв} \geqslant 7$ *кгц* и СО = 40 *дб* разборчивость практически не изменяется.

Математическое ожидание числа экстремумов $\bar{z}_э$ при полосе частот $\Delta f = 3000$ *гц* практически равно математическому ожиданию числа нулевых переходов исходного речевого сигнала (фиг. 6). Допустимая вероятность пропадания экстремумов, при которой звуковая разборчивость равна $D = 70\%$, составляет $P = 0{,}49$ (фиг. 7).

Экстремальное кодирование позволяет значительно повысить качество воспроизведения речи по сравнению с клиппированным речевым сигналом; однако в процессе проведения экспериментов было установлено, что хотя оно дает значительное повышение разборчивости, но все же качество экстремально-кодированной речи не достигает качества исходного речевого сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Венедиктов, В. В. Марков, Г. С. Эйдус. Асинхронные адресные системы связи. М., «Связь», 1968.
2. Ю. Г. Ростовцев. О возможностях применения в системах связи амплитудного ограничения речевых сигналов. «Электросвязь», 1958, 6, 63—67.
3. L. R. Spogen, H. N. Shaver, D. E. Baker. Speech processing by the selective amplitude sampling sistem. J. Acoust. Soc. Amer., 1960, 12, 1621—1625.
4. Н. Б. Покровский. Расчет и измерение разборчивости речи. М., Связьиздат, 1962.

Поступила
21 ноября 1971 г.