

# Методы и средства обработки сигналов и изображений

УДК 534.782.001:621.39

А.Н. Продеус, канд. техн. наук, Л.Б. Дронжевская, В.А. Климов, Д.А. Шагитова

## Моделирование алгоритмов формантно-модуляционного метода оценивания разборчивости речи

Произведены аналитические и экспериментальные исследования алгоритмов формантно-модуляционного метода оценивания разборчивости речи.

Analytical and experimental researches of algorithms of a formant-modulation method of speech intelligibility estimation are made.

**Ключевые слова:** алгоритм, оценивание разборчивости речи, формантно-модуляционный метод.

### Введение

Предложенный в работах [1, 2] новый инструментальный метод оценивания разборчивости речи был назван «формантно-модуляционным», поскольку предполагалось, что он объединит лучшие качества формантного [3] и модуляционного [4, 5] методов. Так, от формантного метода была сохранена идея вычисления вероятности правильного понимания элементов речи (фонем, слогов, слов, фраз), поскольку вероятностный подход облегчает сопоставление результатов инструментального и субъективного анализа. А от модуляционного метода заимствована идея применения модулированного тестового сигнала, что позволяет учесть влияние как шумовой, так и реверберационной помехи, на разборчивость речи. Идея такого объединения методов представляется весьма конструктивной, поскольку позволяет справиться с большим недостатком формантного метода – трудностью учета влияния реверберационной помехи на разборчивость речи.

К сожалению, в отечественной литературе уделено незаслуженно малое внимание тому изящному способу, с помощью которого в модуляционном методе учитывают влияние реверберационной помехи. А в зарубежных работах нам не удалось найти сведений о погрешности соответствующих измерений. Поэтому одна из целей данной работы состоит в восполнении указанного пробела.

Другой целью работы является экспериментальная проверка правильности высказанного в работах [1, 2] предположения о возможности

объединения лучших качеств формантного и модуляционного методов

### 1. Формантно-модуляционный метод

При акустической экспертизе помещения с использованием инструментальных (объективных) методов оценивания разборчивости речи, в определенной точке помещения (местоположение диктора) излучают тестовый сигнал  $x(t)$ , а в иной точке помещения (местоположение аудитора) принимают сигнал  $y(t)$ , который затем подвергают специальной обработке, вычисляя один или несколько числовых параметров, характеризующих разборчивость речи в данном помещении [3-6].

В помещении с импульсной характеристикой (ИХ)  $h(v)$ , характеризующей реверберацию, при наличии мешающего шума  $n(t)$ , в точке приема наблюдается сигнал  $y(t)$ :

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(v)x(t-v)dv + n(t). \quad (1)$$

При использовании формантно-модуляционного метода [1, 2], как и в формантном методе [3], вычисляют артикуляционную разборчивость  $A$ :

$$A = \sum_{k=1}^K p_k P_k(E_k). \quad (2)$$

где  $p_k$  - вероятность пребывания формант в  $k$ -той полосе частот;  $P_k(E_k)$  - коэффициент восприятия речи;  $E_k$  - эффективный уровень ощущения речевого сигнала в  $k$ -той полосе частот  $\Delta f_k$ .

Отличие в том что если в форматном методе используют тестовый сигнал  $x(t)$  в виде стационарного случайного процесса (ССП), спектр мощности которого подобен долговременному спектру речи, а затем оценивают  $E_k$  в соответствии с соотношением:

$$E_k \approx q_k = 10 \lg \frac{D_{sk}}{D_{nk}}, \quad (3)$$

де  $q_k$  - парциальное отношение сигнал-шум,  $D_{sk}$  и  $D_{nk}$  - соответственно дисперсии стационарных сигнала и шума в  $k$ -той полосе частот, в формантно-модуляционном методе для оценивания  $E_k$  предлагается использовать иной способ, применяющийся в модуляционном методе и позволяющий учесть наличие реверберационной помехи [4, 5].

Согласно этому способу, используют тестовый сигнал  $x(t)$  в виде нестационарного случайного процесса (НСП), дисперсия которого  $D_x(t)$  модулирована по гармоническому закону с частотой модуляции  $F$ :

$$x(t) = \xi(t)\sqrt{f(t)}, \quad (4)$$

$$f(t) = 1 + \cos 2\pi Ft. \quad (5)$$

$$D_x(t) = \langle x^2(t) \rangle - \langle x(t) \rangle^2 = D_\xi(1 + \cos 2\pi Ft), \quad (6)$$

где  $\xi(t)$  - ССП с дисперсией  $D_\xi$  и со спектром мощности, повторяющим форму долговременного спектра речи;  $\langle \rangle$  - символ математического ожидания. Очевидно, коэффициент модуляции  $m$  дисперсии  $D_x(t)$  равен единице.

Дисперсия  $D_y(t)$  НСП  $y(t)$  будет также модулирована по гармоническому закону с той же частотой  $F$ , однако, вследствие действия реверберационной и шумовой помех, коэффициент модуляции  $m$  дисперсии  $D_y(t)$  оказывается меньше единицы. Например, в случае преобладающего действия шумовой помехи в соотношении (1) следует принять  $h(v) \approx \delta(v)$ , где  $\delta(v)$  - дельта-функция Дирака, вследствие чего получаем:

$$D_y(t) = D_\xi(1 + \cos 2\pi Ft) + D_n, \quad (7)$$

$$m = \frac{D_\xi}{D_\xi + D_n}. \quad (8)$$

Из соотношения (8) следует выражение для отношения сигнал-шум:

$$SNR = 10 \lg \frac{D_\xi}{D_n} = 10 \lg \frac{m}{1-m}. \quad (9)$$

При совместном действии шумовой и реверберационной помех аналитическое выражение для коэффициента модуляции  $m$  дисперсии  $D_y(t)$  оказывается более сложным, по сравнению с (8), и зависит не только от дисперсии шума  $D_n$ , но и от стандартного времени

реверберации  $T_{60}$ , и даже от частоты модуляции  $F$ .

Авторы модуляционного метода блестяще использовали это обстоятельство, предложив использовать дискретный набор из 14 частот модуляции ( $F_i = 0,63, 0,8, 1, 1,25, 1,6, 2, 2,5, 3,15, 4, 5, 6,3, 8, 10, 12,5$  Гц), мотивируя свой выбор желанием имитировать нестационарный характер дисперсии реального речевого сигнала. Но главным достижением авторов модуляционного метода является введение понятия «эквивалентного» или «эффективного» отношения сигнал-шум (apparent or effective signal-to-noise ratio), аналитически описываемого соотношениями:

$$\overline{SNR}_k = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} SNR_{k,i}, \quad (10)$$

$$SNR_{k,i} = 10 \lg \frac{m_k(F_i)}{1 - m_k(F_i)}. \quad (11)$$

где  $m_k(F_i)$  - коэффициент модуляции дисперсии  $D_y(t)$  сигнала  $y(t)$ , наблюдаемого в  $k$ -той полосе частот [4, 5]. Сравнивая (9) и (11), видим, что  $SNR_{k,i}$  вычисляются по формуле, описывающей действие шумовой помехи, между тем как коэффициенты модуляции  $m_k(F_i)$  несут на себе «печать» действия не только шумовой, но и реверберационной помех (и даже нелинейных искажений, типичных для помещений, оборудованных электроакустическими системами звукоусиления). Производимое в (10) усреднение  $SNR_{k,i}$  по номеру модуляционной частоты  $F_i$  приводит к двойному эффекту: подавляется влияние величины  $F_i$  на результаты измерений, а также уменьшается дисперсия получаемой оценки.

В этой связи становится понятным, почему в формантно-модуляционном методе эффективный уровень ощущения речевого сигнала  $E_k$  предлагается оценивать в соответствии с соотношением

$$E_k = \overline{SNR}_k, \quad (12)$$

а не в соответствии с соотношением (3).

Что касается оценивания коэффициентов модуляции  $m_k(F_i)$ , в силу гармонического характера модуляции дисперсии  $D_y(t)$  его целесообразно производить с использованием преобразования Фурье [5]:

$$\tilde{m}_k(F_i) = \frac{2|A_{ik}(F_i)|}{|A_{ik}(0)|}, \quad (13)$$

$$A_{ik}(f) = \frac{1}{T} \int_0^T y_{ik}^2(t) e^{-j2\pi ft} dt, \quad (14)$$

где  $T$  - длительность реализации процесса  $y_{ik}(t)$ ;  $||$  - символ модуля.

## 2. Анализ погрешности измерений

Предположим, что распределение вероятностей формант по частоте  $p_k$  и коэффициент восприятия  $P_k(E_k)$  известны с высокой точностью. Тогда из (2), (4), (5), (10)-(14) следует, что смещенность и дисперсия оценки артикуляционной разборчивости (2) полностью определяются статистическими свойствами величин  $A_{ik}(0)$  и  $A_{ik}(F_i)$ .

В данной работе статистический анализ пары случайных величин  $A_{ik}(0)$  и  $A_{ik}(F_i)$  произведем в предположении превалирующего влияния шумовой помехи. В этом случае модель сигнала в  $k$ -том частотном канале можно представить в виде:

$$y_{ik}(t) = \xi_k(t) \sqrt{1 + \cos(2\pi F_i t + \phi_k)} + n_k(t). \quad (15)$$

где  $\xi_k(t)$  и  $n_k(t)$  - нормально распределенные полосовые (в  $k$ -той полосе частот  $\Delta f_k$ ) белые и статистически независимые ССП с нулевыми математическими ожиданиями;  $\phi_k$  - неизвестная начальная фаза.

**Математическое ожидание (МО).** Опуская, для упрощения обозначений, индексы в соотношениях (14) и (15), получаем:

$$\begin{aligned} \langle A(f) \rangle &= \frac{1}{T} \int_0^T \langle y^2(t) \rangle e^{-j2\pi ft} dt = \\ &= (D_\xi + D_n) e^{-j\pi f T} \text{Sa}(\pi f T) + \\ &+ \frac{D_\xi}{2} \left\{ e^{j\phi} e^{-j\pi(f-F_i)T} \text{Sa}[\pi(f-F_i)T] + \right. \\ &\left. + e^{-j\phi} e^{-j\pi(f+F_i)T} \text{Sa}[\pi(f+F_i)T] \right\}. \end{aligned} \quad (16)$$

где  $\text{Sa}(x) = \sin(x)/x$ . При выполнении условия  $T = r/F_i$ , где  $r$  - произвольное целое положительное число, из (16) следует:

$$\langle A(0) \rangle = D_\xi + D_n, \quad (17)$$

$$\langle |A(F_i)| \rangle = \langle |A(F_i)| \rangle = \frac{D_\xi}{2}. \quad (18)$$

Как видим, условие  $T = r/F_i$  есть условие несмещенности оценки артикуляционной раз-

борчивости (2) формантно-модуляционным методом.

Дисперсия. Найдем теперь дисперсию величин  $A_{ik}(0)$  и  $A_{ik}(F_i)$ . В общем случае:

$$D\{|A(f)\}| = \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T \left[ \langle y^2(t_1) y^2(t_2) \rangle - \langle y^2(t_1) \rangle \langle y^2(t_2) \rangle \right] e^{-j2\pi f(t_1-t_2)} dt_1 dt_2. \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \langle y^2(t_1) y^2(t_2) \rangle - \langle y^2(t_1) \rangle \langle y^2(t_2) \rangle &= \\ &= 2D_n^2 \left[ \frac{D_\xi}{D_n} R_\xi(t_2 - t_1) f(t_1) f(t_2) + \right. \\ &\left. + R_n(t_2 - t_1) \right]^2, \end{aligned} \quad (20)$$

где  $R_\xi(\tau)$  и  $R_n(\tau)$  - коэффициенты корреляции ССП  $\xi(t)$  и  $n(t)$ , соответственно.

Полагая

$$\begin{aligned} R_\xi(\tau) = R_n(\tau) &= \frac{\sin(\pi \Delta f \tau)}{\pi \Delta f \tau} \cos 2\pi f_0 \tau = \\ &= \text{Sa}(\pi \Delta f \tau) \cos 2\pi f_0 \tau, \end{aligned} \quad (21)$$

где  $\Delta f$  - ширина полосы частот ССП  $\xi(t)$  и  $n(t)$ ,  $f_0$  - центральная частота этой полосы, после весьма громоздких выкладок, в предположении  $T\Delta f \gg 1$ , можно получить следующее окончательное соотношение:

$$\begin{aligned} D[|A(0)|] &= D[|A(F_i)|] \approx \frac{3D_\xi^2}{2\Delta f T} + \frac{4D_\xi D_n}{T\Delta f} + \\ &+ \frac{D_n^2}{\Delta f T} = \frac{D_n^2}{\Delta f T} \left( \frac{3q^2}{2} + 4q + 1 \right), \end{aligned} \quad (22)$$

где  $q = D_\xi/D_n$  - отношение сигнал-шум.

Из соотношения (22) следует вывод о состоятельности оценки (2), сформированной формантно-модуляционным методом.

Для инженерных приложений будут полезными соотношения для относительной дисперсии, характеризующие относительную погрешность измерений:

$$\begin{aligned} \frac{D[|A(0)|]}{\langle |A(0)| \rangle^2} &= \frac{1}{\Delta f T} \frac{(3q^2/2 + 4q + 1)}{(1+q)^2}, \\ \frac{D[|A(F_i)|]}{\langle |A(F_i)| \rangle^2} &= \frac{1}{\Delta f T} \frac{4(3q^2/2 + 4q + 1)}{q^2} \end{aligned} \quad (23)$$

**Корреляция.** Исследования взаимной коррелированности величин  $A_{ik}(0)$  и  $A_{ik}(F_i)$  также сопряжены с весьма громоздкими выкладками, поэтому приведем лишь окончательные результаты.

Для малых ( $q \ll 1$ ) отношений сигнал-шум, при выполнении условий  $T\Delta f \gg 1$  и  $T = r/F_i$  справедливо приближенное равенство:

$$K\{A(0)A^*(F_i)\} \approx K\{A(F_i)A^*(0)\} \approx 0, \quad (24)$$

т.е. величины  $A_{ik}(0)$  и  $A_{ik}(F_i)$  можно считать некоррелированными, а благодаря центральной предельной теореме – и статистически независимыми.

Для больших ( $q \gg 1$ ) отношений сигнал-шум справедливо соотношение:

$$K\{A(0)A^*(F_i)\} \approx K\{A(F_i)A^*(0)\} \approx \frac{D_{\xi}^2}{\Delta f T}. \quad (25)$$

Из (25), с учетом (22), следует, что величины  $A_{ik}(0)$  и  $A_{ik}(F_i)$  статистически зависимы, и коэффициент их взаимной корреляции близок величине 0,66:

$$R\{A(0)A^*(F_i)\} = \frac{K\{A(0)A^*(F_i)\}}{\sigma[A(0)]\sigma[A^*(F_i)]} \approx \frac{2}{3} \quad (26)$$

Несмотря на коррелированность величин  $|A(0)|$  и  $|A(F_i)|$ , вывод о состоятельности оценки (2), сформированной формантно-модуляционным методом, остается в силе.

### 3. Компьютерное моделирование измерительной системы

С учетом соотношений (1)-(14), обобщенную схему процедуры измерения эквивалентных от-

ношений сигнал-шум  $E_k \approx \overline{SNR}_k$  можно представить рис. 1.

Для сокращения времени численного моделирования, вместо стационарного окрашенного шума  $\xi(t)$  целесообразно использовать результаты его фильтрации  $\xi_k$  гребенкой из семи октавных фильтров, так что вместо соотношения (4) используется соотношение:

$$x_{ik}(t) = \xi_k(t)\sqrt{f_i(t)} \quad (27)$$

Соответствующая схема формирования компонентов  $x_{ik}(t)$  тестового сигнала представлена на рис. 2 С помощью коэффициентов  $a_k$  производится «окрашивание» тестового сигнала – в результате обеспечивается подобие долговременных спектров тестового и речевого сигналов. Схема формирования компонентов  $n_k(t)$  шума  $n(t)$  выглядит аналогично, с тем лишь отличием, что вместо коэффициентов  $a_k$  используются коэффициенты  $b_k$ , позволяющие сформировать шум требуемой окрашенности. Еще одно отличие схемы формирования шума – отсутствие блоков модуляции.

Оценивание коэффициентов модуляции производится с использованием соотношений (13)-(14), а оценивание эквивалентных отношений сигнал-шум – с помощью соотношений (10)-(12). Оценивание формантной разборчивости речи производится в соответствии с соотношением (2). Полученная оценка затем пересчитывается в словесную разборчивость [3]



Рис. 1. Процедура измерений эквивалентных отношений сигнал-шум



Рис. 2. Схема формирования компонентов тестового сигнала

4. Результаты модельных исследований

Сначала рассмотрим результаты моделирования ситуации, когда реверберационная помеха отсутствует, и действует лишь шумовая помеха. Оценки словесной разборчивости, полученные формантно-модуляционным методом для различных интегральных отношений сигнал-шум и для различной окрашенности шума, приведены на рис. 3, а. Рядом (рис. 3, б) показаны аналогичные графики для формантного метода. Как видим, оба метода приводят к практически одинаковым результатам, несмотря на существенное различие тестовых сигналов и способов оценивания отношения сигнал-шум. Это означает, что разработанная компьютерная модель измерительной системы, реализующей формантно-модуляционный метод, работоспособна и обеспечивает получение правильных результатов в случае превалирующего действия шумовой помехи.

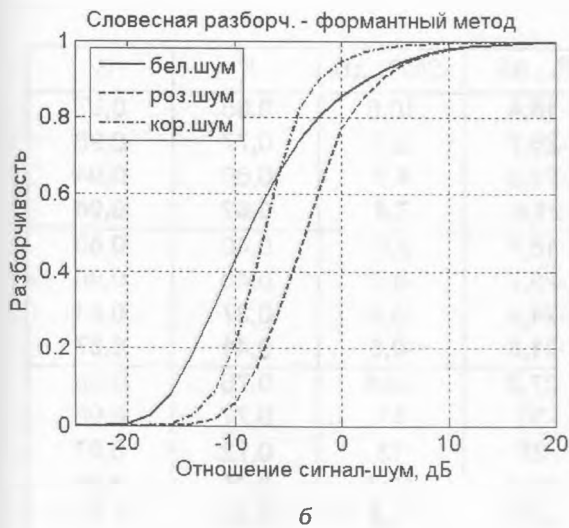
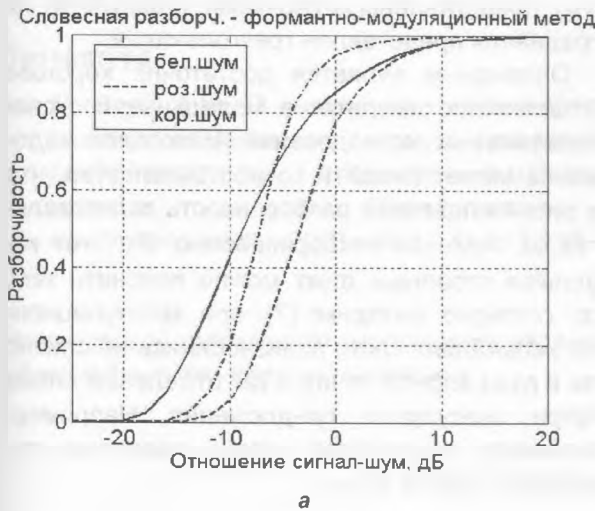


Рис. 3. Оценки разборчивости для шумовой помехи: формантно-модуляционный (а) и формантный (б) методы

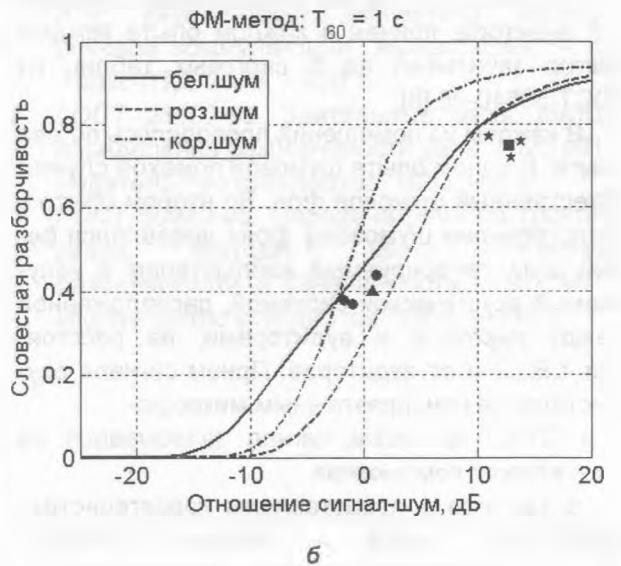
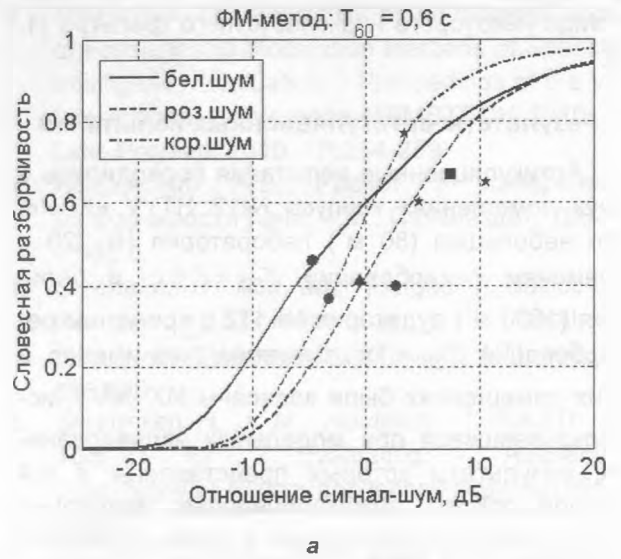


Рис. 4. Оценки разборчивости:  $T_{60} = 0,6$  с (а) и  $T_{60} = 1$  с (б)

Теперь рассмотрим результаты моделирования с учетом влияния реверберационной помехи. На рис. 4, а представлены графики словесной разборчивости для помещения с временем реверберации  $T_{60} = 0,6$  с, а на рис. 4, б – для помещения с временем реверберации  $T_{60} = 1$  с. Как и следовало ожидать, с увеличением времени реверберации разборчивость речи понижается. Наиболее заметно это снижение для средних и малых отношений сигнал-шум. Для отношений сигнал-шум более 5, 7 дБ снижение разборчивости речи менее ощутимо. Интересно также, что степень снижения разборчивости зависит от окрашенности шумовой помехи: для коричневого шума снижение разборчивости наименьшее, для белого шума – наибольшее. Данный факт удобно объяснять с помощью модели реверберационного процесса

в виде некоторого низкочастотного фильтра [4, 5].

### 5. Результаты артикуляционных испытаний

Артикуляционные испытания проводились в двух помещениях корпуса №12 НТУУ «КПИ»: это небольшая ( $80 \text{ м}^3$ ) лаборатория № 220 с временем реверберации  $T_{60} = 0,6 \text{ с}$  и большая ( $1690 \text{ м}^3$ ) аудитория № 412 с временем реверберации  $T_{60} = 1 \text{ с}$ . Заметим, что именно в этих помещениях были записаны ИХ  $h(v)$ , использовавшиеся при модельных исследованиях, результаты которых представлены в п.4 данной работы. Артикуляционные испытания проводились в соответствии с рекомендациями ГОСТ 25902-83 [7], в них участвовали 3 диктора и 3 аудитора, причем в каждом опыте каждый диктор зачитывал по 5 слоговых таблиц из ГОСТ 50840-95 [8].

В каждом из помещений проводилось по два опыта. В одном опыте шумовой помехой служил естественный шумовой фон. Во втором опыте к естественному шумовому фону добавлялся белый шум, генерируемый компьютером и излучаемый акустической системой, расположенной между диктором и аудиторами, на расстоянии 1,5...2 м от аудиторов. Прием сигнала осуществлялся ненаправленным микрофоном GT57, принятый сигнал записывался на диск второго компьютера.

В таблице 1 представлены характеристики записанных шумов и речевых сигналов:  $P_n$  – интегральный уровень шумовой помехи;  $P_s$  – интегральный уровень речевого сигнала;

$SNR = P_s - P_n$  – интегральное отношение сигнал-шум. В этой же таблице представлены результаты артикуляционных испытаний:  $S$  и  $W$  – слоговая и словесная разборчивость, соответственно. Значение  $S$  представляет собой отношение количества правильно услышанных слогов к количеству произнесенных слогов, а значение  $W$  вычислялось по известной функциональной зависимости  $W = W(S)$  [3].

Числа в ячейках таблицы 1, выделенные жирным шрифтом, представляют собой среднее вышестоящих трех чисел, соответствующих разным дикторам. На рис. 4 значения  $S$ , соответствующие результатам отдельных дикторов в опытах 1 и 3 (фоновый шум), представлены звездочками, а результат их усреднения представлен квадратиком. Значения  $S$ , соответствующие результатам отдельных дикторов в опытах 2 и 4 (фоновый шум + дополнительный шум), представлены кружочками, а результат их усреднения представлен треугольником.

Очевидным является достаточно хорошее согласование результатов модельных и экспериментальных исследований. Некоторое недоумение может вызвать то обстоятельство, что на рис. 4 словесная разборчивость сопоставляется со слоговой разборчивостью  $S$ . Этот кажущийся странным факт можно пояснить тем, что, согласно методике [7], при артикуляционных испытаниях слоги произносились не слитно (как в разговорной речи), а как отдельные слова внутри «несущего» предложения. Например: «запишите, пожалуйста, «трен», запишите, пожалуйста, «рась» и т.д.

Таблица 1

№ опыта	$T_{60}$ , с	Шум	$P_n$ , дБ	$P_s$ , дБ	$SNR$ , дБ	$S$	$W$
1	0,6	Фоновый	-29	-18,4	10,6	0,65	0,97
				-25,7	3,3	0,77	0,98
				-24,3	4,7	0,60	0,94
				<b>21,6</b>	<b>7,4</b>	<b>0,67</b>	<b>0,96</b>
2	0,6	Фоновый + дополнительный	-21	-18,4	2,6	0,40	0,86
				-25,7	-4,7	0,46	0,90
				-24,3	-3,3	0,37	0,84
				<b>-21,6</b>	<b>-0,6</b>	<b>0,41</b>	<b>0,87</b>
3	1	Фоновый	-41	-27,2	13,8	0,76	0,98
				-30	11	0,77	0,98
				-28	13	0,72	0,97
				<b>-28,3</b>	<b>12,7</b>	<b>0,75</b>	<b>0,98</b>
4	1	Фоновый + дополнительный	-29	-27,2	-1,8	0,38	0,85
				-30	-1	0,37	0,84
				-28	1	0,44	0,89
				<b>-28,3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,40</b>	<b>0,86</b>

## Выводы

Представлено детальное описание процедуры оценивания разборчивости речи формантно-модуляционным методом. Получены аналитические выражения для математического ожидания, дисперсии и коэффициента взаимной корреляции величин  $A_{jk}(0)$  и  $A_{jk}(F_i)$ , используемых при измерениях коэффициента модуляции. В результате получены удобные в инженерных приложениях соотношения, позволяющие выбирать длительность  $T$  анализируемого сигнала, исходя из требуемой точности измерений.

Произведена экспериментальная проверка работоспособности формантно-модуляционного метода путем компьютерного моделирования соответствующей измерительной системы. Результаты моделирования достаточно хорошо совпали с результатами артикуляционных испытаний.

## Литература

1. Продеус А.Н. О некоторых особенностях развития объективных методов измерений разборчивости речи. // Электроника и связь, тематич. выпуск "Электроника и нанотехнологии". - 2010. - №2. - С. 217-223.
2. Prodeus A. On Possibility of Advantages Join of Formant and Modulation Methods of Speech Intelligibility Evaluation. - Proceedings of the VI International Conference MEMSTECH 2010. - Lviv, Polyana, 2010. - P.254-259.
3. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. - М.: Связьиздат, 1962. - 390 с.
4. Steeneken H. J. M. and Houtgas, T. Basics of the STI-measuring method ([http://www.steeneken.nl/sti/Basics\\_STI\\_web-site.pdf](http://www.steeneken.nl/sti/Basics_STI_web-site.pdf))
5. Steeneken H. J. M., Houtgast T. RASTI: A Tool for Evaluating Auditoria. (<http://www.bksv.com/doc/technicalreview1985-3.pdf>)
6. Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации: Монография. - К.: Имэкс-ЛТД, 2008. - 420 с.
7. ГОСТ 25902-83. Зрительные залы. Метод определения разборчивости речи. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1983. - 6 с.
8. ГОСТ 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. - 198 с.