

УДК 004.934.1'1

Е.Е. ФЕДОРОВ, В.И. КУПЦОВ

*Донецкий национальный технический университет***МЕТОДИКИ ОЧИСТКИ СИГНАЛА ОТ РОЗОВОГО ШУМА**

Для разработки естественно-языкового интерфейса в статье предлагаются методики очистки сигнала от розового шума, используемые для предварительной обработки распознаваемого сигнала. Для выбора эффективной методики было проведено численное исследование.

**методика очистки сигнала, система распознавания речи, розовый шум, дискретное преобразование Фурье, непрерывное и дискретное вейвлет-преобразование, спектральное вычитание, пороговая вейвлет-обработка**

**Введение**

При распознавании речи важную роль играет предварительная очистка сигнала от шума. Одним из наиболее сложных шумов является розовый. Для решения этой задачи в статье предлагаются методики подавления розового шума в сигнале, основанные на Фурье- и вейвлет-преобразовании и классификации звуков речи.

**Постановка проблемы.** В современной отечественной и мировой практике активно ведутся разработки естественно-языковых систем общения человек-компьютер, одной из составных частей которых может быть система распознавания речи. При создании системы распознавания необходимо решить задачу очистки зашумленного входного сигнала.

**Анализ исследований.** В работах [1 – 3] приводится методика определения границ речи, основанная на классификации звуков речи [4], но без подавления шума. В работах [5 – 6] рассматриваются методы очистки сигнала, не учитывающие классификацию звуков речи.

**Постановка задачи.** Разработать методики подавления розового шума в сигнале, основанные на Фурье- и вейвлет-преобразовании и широкой классификации звуков речи.

**Решение задачи.** В статье рассматриваются очистка сигнала посредством преобразования Фурье,

дискретного и непрерывного вейвлет-преобразования, связанных с классификацией звуков речи; проводится численное исследование реализованных методик со стандартными методами, осуществляющими шумоочистку.

В общем случае каждая из трех методик очистки сигнала включает в себя три этапа:

- 1) разложение сигнала;
- 2) преобразование коэффициентов разложения;
- 3) восстановление сигнала.

**1. Методика ФЕОС-ДПФ**

Методика ФЕОС-ДПФ осуществляет очистку сигнала посредством дискретного преобразования Фурье и учитывает классификацию звуков речи. Она включает в себя разложение (декомпозицию), преобразование коэффициентов разложения, восстановление (реконструкцию) сигнала.

**Разложение сигнала.** Сигнал  $x(n)$  разбивается на фреймы длиной  $\Delta N$ . Для  $s$ -го фрейма производится разложение сигнала на  $P$  уровней:

1) получение спектра, используя прямое дискретное преобразование Фурье

$$X_s(m) = \sum_{n=0}^{\Delta N-1} x_s(n) e^{-j(2\pi/\Delta N)nm}, \quad m \in \overline{0, \Delta N-1};$$

2) на текущем  $i$ -м уровне,  $i \in \overline{1, P}$ , выполняется разделение спектра на высокочастотную и низко-

частотную составляющие:

$$X_{si}^D(m) = X_s(m), \quad m \in \overline{\Delta N / 2^{i-1}, \Delta N^{i-1} - 1};$$

$$X_{si}^C(m) = X_s(m), \quad m \in \overline{0, \Delta N / 2^{i-1} - 1};$$

3) применение операции 2) к низкочастотной части  $X_{si}^C$ ,  $i := i + 1$ .

### Преобразование коэффициентов разложения.

1. Для  $s$ -го фрейма на  $i$ -м уровне разложения вычисляется энергия

$$DE_{si} = \sum_m (X_{si}^D(m))^2, \quad CE_{sP} = \sum_m (X_{sP}^C(m))^2.$$

2. Для  $s$ -го фрейма на  $i$ -м уровне разложения вычисляется мера контрастности:

$$Contr_{si}^{DFT} = DE_{si} / \sum_{j=1}^i DE_{sj}.$$

3. На совокупности фреймов, которые содержат только шум, т.е. для каждого такого  $k$ -го фрейма выполняется условие

$$\alpha_1 < Contr_{k\gamma}^{DFT} < \alpha_2,$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – пороги, которые вычисляются в подсистеме адаптации и представляют собой минимальное и максимальное значение контрастности шума на уровне  $\gamma$ , полученного в результате численного исследования;

вычисляются средние энергии

$$AverageDE_i = \sum_k DE_{ki} / K, \quad i \in \overline{1, P},$$

$$AverageCE_P = \sum_k CE_{kP} / K,$$

где  $K$  – количество фреймов, содержащих только шум.

4. Производится изменение высоко- и низкочастотных составляющих в соответствии с типом  $s$ -го фрейма:

4.1. Если фрейм не содержит тональных звуков, т.е. выполняется условие

$$Contr_{s\gamma}^{DFT} < \alpha_2,$$

где  $\alpha_2$  – порог,  $\gamma$  – номер уровня

а) если фрейм содержит только шум, т.е. выполняется условие

$$Contr_{s\gamma}^{DFT} > \alpha_1,$$

где  $\alpha_1$  – порог,  $\gamma$  – номер уровня,

обнуляются все высокочастотные и низкочастотные составляющие

$$X_{si}^D(m) = 0, \quad i \in \overline{1, P}, \quad X_{sP}^C(m) = 0$$

б) если фрейм содержит шумные глухие щелевые и смычно-щелевые звуки, т.е. не выполняется условие  $Contr_{s\gamma}^{DFT} > \alpha_1$ , и если для низкочастотных составляющих выполняется условие

$$(X_{sP}^C(m))^2 < AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1}),$$

то они обнуляются:

$$X_{sP}^C(m) = 0,$$

иначе заменяются разностью

$$X_{sP}^C(m) - \sqrt{AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1})}.$$

4.2. Если фрейм содержит тональные (шумные звонкие, сонорные или гласные) звуки, т.е. не выполняется условие  $Contr_{s\gamma}^{DFT} < \alpha_2$ , то:

а) если для высокочастотных составляющих выполняется условие

$$(X_{si}^D(m))^2 < AverageDE_i / (\Delta N / 2^{i-1}),$$

то они обнуляются:

$$X_{si}^D(m) = 0,$$

иначе заменяются разностью

$$X_{si}^D(m) - \sqrt{AverageDE_i / (\Delta N / 2^{i-1})};$$

б) если для низкочастотных составляющих выполняется условие

$$(X_{sP}^C(m))^2 < AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1}),$$

то они обнуляются:

$$X_{sP}^C(m) = 0,$$

иначе заменяются разностью

$$X_{sP}^C(m) - \sqrt{AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1})}.$$

**Восстановление сигнала.** По полученным новым

коэффициентам разложения (декомпозиции) производится восстановление (реконструкция) сигнала:

1) на текущем  $i$ -м уровне,  $i \in \overline{1, P}$ , выполняется объединение низкочастотной и высокочастотной составляющей для всех  $s$  фреймов:

$$X_{s,i-l}^C(m) = \begin{cases} X_{si}^C(m), & m < \Delta N / 2^i; \\ X_{si}^D(m - N / 2^i), & m \geq \Delta N / 2^i, \end{cases} \\ m \in \overline{0, \Delta N / 2^{i-1}};$$

2) к полученным на нулевом уровне коэффициентам применяется обратное преобразование Фурье для получения результирующего сигнала  $\tilde{x}_s(n)$ :

$$\tilde{x}_s(n) = \frac{1}{\Delta N} \sum_{m=0}^{\Delta N-1} X_{s0}^D(m) e^{j(2\pi/\Delta N)nm}, \quad n \in \overline{0, \Delta N-1}.$$

## 2. Методика ФЕОС-ДВП

Методика ФЕОС-ДВП осуществляет очистку сигнала посредством дискретного вейвлет-преобразования и учитывает классификацию звуков речи. Она включает в себя разложение (декомпозицию), преобразование и восстановление (реконструкцию) сигнала.

**Разложение сигнала.** Производится декомпозиция сигнала  $x(n)$  на  $P$  уровней. На текущем  $i$ -м уровне,  $i \in \overline{1, P}$ , выполняется свертка сигнала с полосовыми фильтрами (вейвлетами) с коэффициентами  $g_n$ ,  $h_n$  для получения высоко- ( $d_{im}$ ) и низкочастотных ( $c_{im}$ ) составляющих (субполос)

$$d_{im} = a_0^{1/2} \sum_{n=0}^{N/2^{i-1}-1} c_{i-1,n} g_{n+2m}, \quad m \in \overline{0, N/2^{i-1}-1},$$

где  $c_{0n} = x(n)$ ,

$$c_{im} = a_0^{1/2} \sum_{n=0}^{N/2^{i-1}-1} c_{i-1,n} h_{n+2m}.$$

Например, если в качестве фильтра выбран вейвлет Добеши  $\psi(t)$ :

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_{l=0}^{2M-1} (-1)^l h_{(2M-1)-l} \varphi(2t-l),$$

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_{l=0}^{2M-1} h_l \varphi(2t-l),$$

где  $\varphi(t)$  – масштабирующая функция,  $M$  – порядок вейвлета (число нулевых моментов),

то набор свойств масштабирующих функций и вейвлетов, обеспечивающих ортогональность масштабирующих функций, ортогональность вейвлетов масштабирующим функциям, ортогональность вейвлетов полиномам до степени  $M-1$ , условие нормировки, сводится к следующей системе, которая однозначно определяет коэффициенты  $h_l$  и  $g_l$ :

$$\begin{cases} \sum_{l=0}^{2M-1} h_l h_{l+2m} = \delta_{0m}; \\ g_l = (-1)^l h_{2M-l-1}, \quad l \in \overline{0, M-1}; \\ \sum_{l=0}^{2M-1} (-1)^l l^p h_l = 0, \quad p \in \overline{0, M-1}; \\ \sum_{l=0}^{2M-1} h_l = \sqrt{2}. \end{cases}$$

### Преобразование коэффициентов разложения.

1. Сигнал разбивается на фреймы длиной  $\Delta N$ . Для  $s$ -го фрейма на  $i$ -м уровне разложения вычисляется энергия

$$DE_{si} = \sum_{m=(s-1)\Delta N}^{s\Delta N} d_{im}^2, \quad CE_{sP} = \sum_{m=(s-1)\Delta N}^{s\Delta N} c_{Pm}^2.$$

2. Для  $s$ -го фрейма на  $i$ -м уровне разложения вычисляется мера контрастности:

$$Contr_{si}^{DWT} = DE_{si} / \sum_{j=1}^i DE_{sj}.$$

3. На совокупности фреймов, которые содержат только шум, т.е. для каждого такого  $k$ -го фрейма выполняется условие

$$\alpha_1 < Contr_{ky}^{DWT} < \alpha_2,$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – пороги, которые автоматически вычисляются в подсистеме адаптации и представляют собой минимальное и максимальное значение контрастности шума на уровне  $\gamma$ ;  $\gamma$  – номер уровня, получаемый в результате численного исследования,

вычисляются средние энергии

$$AverageDE_i = \sum_k DE_{ki} / K, \quad i \in \overline{1, P},$$

$$AverageCE_P = \sum_k CE_{kP} / K,$$

где  $K$  – количество фреймов, содержащих только шум.

4. Производится изменение детализирующих и аппроксимирующих коэффициентов в соответствии с типом  $s$ -го фрейма:

4.1. Если фрейм не содержит тональных звуков, т.е. выполняется условие

$$Contr_{s\gamma}^{DWT} < \alpha_2,$$

где  $\alpha_2$  – порог,  $\gamma$  – номер уровня, то:

а) если фрейм содержит только шум, т.е. выполняется условие

$$Contr_{s\gamma}^{DWT} > \alpha_1,$$

где  $\alpha_1$  – порог,  $\gamma$  – номер уровня,

обнуляются все детализирующие и аппроксимирующие коэффициенты:

$$d_{im} = 0, \quad c_{Pm} = 0, \quad m \in \overline{(s-1)\Delta N, s\Delta N}, \quad i \in \overline{1, P};$$

б) если фрейм содержит шумные глухие щелевые и смычно-щелевые звуки, т.е. не выполняется условие  $Contr_{s\gamma}^{DWT} > \alpha_1$ ,

и если для аппроксимирующих коэффициентов выполняется условие

$$c_{Pm}^2 < AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1}),$$

то они обнуляются:

$$c_{Pm} = 0, \quad m \in \overline{(s-1)\Delta N, s\Delta N},$$

иначе заменяются разностью

$$c_{Pm} - \sqrt{AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1})}.$$

4.2. Если фрейм содержит тональные (шумные звонкие, сонорные или гласные) звуки, т.е. не выполняется условие  $Contr_{s\gamma}^{DWT} < \alpha_2$ , то:

– если для детализирующих коэффициентов выполняется условие

$$d_{im}^2 < AverageDE_i / (\Delta N / 2^{i-1}),$$

то они обнуляются:

$$d_{im} = 0, \quad m \in \overline{(s-1)\Delta N, s\Delta N},$$

иначе заменяются разностью

$$d_{im} - \sqrt{AverageDE_i / (\Delta N / 2^{i-1})};$$

– если для аппроксимирующих коэффициентов выполняется условие

$$c_{Pm}^2 < AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1}),$$

то они обнуляются:

$$c_{Pm} = 0, \quad m \in \overline{(s-1)\Delta N, s\Delta N},$$

иначе заменяются разностью

$$c_{Pm} - \sqrt{AverageCE_P / (\Delta N / 2^{P-1})}.$$

**Восстановление сигнала.** По полученным новым коэффициентам декомпозиции производится реконструкция сигнала. При этом на текущем  $i$ -м уровне,  $i \in \overline{1, P}$ , выполняется свертка высоко- ( $d_{im}$ ) и низкочастотных ( $c_{im}$ ) составляющих (субполос) с полосовыми фильтрами с коэффициентами  $g_n, h_n$  для

$$c_{i-1,n} = a_0^{1/2} \sum_{m=0}^{N/2^i-1} c_{im} h_{n+2m} + a_0^{1/2} \sum_{m=0}^{N/2^i-1} d_{im} g_{n+2m}.$$

Результатом синтеза является сигнал  $c_{0n} = \tilde{x}(n)$ .

### 3. Методика ФЕОС-НВП

Методика ФЕОС-НВП осуществляет очистку сигнала посредством аппроксимированного непрерывного вейвлет-преобразования и учитывает классификацию звуков речи. Она включает в себя разложение, преобразование коэффициентов разложения, восстановление сигнала.

**Разложение сигнала.** Производится декомпозиция сигнала  $x(n)$  на  $P$  уровней.

$$d_{il} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) a_0^{-i/2} \psi(a_0^{-i} n - b_0 l) \Delta t, \\ l \in \overline{0, N-1}, \quad i \in \overline{1, P},$$

где  $\psi(\xi)$  – вейвлет,  $\Delta t$  – шаг квантования.

Например, если выбран вейвлет Морле  $\psi(t)$ ,

$$\psi(t) = (2\pi)^{-1/2} \cos(\omega_0 t) e^{-t^2/2}, \quad \omega_0 = 5.$$

### Преобразование коэффициентов разложения.

1. Сигнал разбивается на фреймы длиной  $\Delta N$ . Для  $s$ -го фрейма на  $i$ -м уровне разложения вычисляется энергия

$$DE_{si} = \sum_{m=(s-1)\Delta N}^{s\Delta N} d_{im}^2.$$

2. Для  $s$ -го фрейма по всем уровням разложения вычисляется мера контрастности:

$$Contr_{si}^{CWT} = DE_{si} / \sum_{j=1}^i DE_{sj}, \quad i \in \overline{1, P}.$$

3. Тип каждого  $k$ -го фрейма определяется следующим образом:

$$n = \arg \max_t \left\{ \sum_{\gamma \in \Theta} \delta_{t\gamma} \right\}, \quad \Theta \subset \{1, \dots, P\},$$

$$\delta_{1k\gamma} = \begin{cases} 1, & \alpha_{1\gamma} < Contr_{k\gamma}^{CWT} < \alpha_{2\gamma}; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

$$\delta_{2k\gamma} = \begin{cases} 1, & \alpha_{1\gamma} > Contr_{k\gamma}^{CWT}; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

$$\delta_{3k\gamma} = \begin{cases} 1, & Contr_{k\gamma}^{CWT} > \alpha_{2\gamma}; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где  $\alpha_{1\gamma}$ ,  $\alpha_{2\gamma}$  – пороги, которые автоматически вычисляются в подсистеме адаптации и представляют собой минимальное и максимальное значение контрастности шума на уровне  $\gamma$ ;  $\Theta$  – подмножество уровней, получаемое в результате численного исследования.

$$n = \begin{cases} 1, & \text{шум;} \\ 2, & \text{шипящий;} \\ 3, & \text{тональный.} \end{cases}$$

Для совокупности фреймов при  $n=1$  вычисляются средние энергии и отклонения от них:

$$AverageDE_i = \sum_k DE_{ki} / K,$$

$$SDE_i = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_k (DE_{ki} - AverageDE_i)^2}, \quad i \in \overline{1, P},$$

где  $K$  – количество фреймов, содержащих только шум.

4. Производится изменение вейвлет-коэффициентов в соответствии с типом  $s$ -го фрейма:

4.1. Если фрейм содержит только шум, т. е.  $n = 1$ , то обнуляются все вейвлет-коэффициенты:

$$d_{im} = 0, \quad m \in \overline{(s-1)\Delta N, s\Delta N}, \quad i \in \overline{1, P}.$$

4.2. Если фрейм содержит шумные глухие щелевые и смычно-щелевые звуки, т. е.  $n = 2$ , и для вейвлет-коэффициентов выполняется условие

$$d_{im} < \sqrt{AverageDE_i + SDE_i},$$

то они обнуляются:  $d_{im} = 0$ , иначе заменяются разностью

$$d_{im} - \sqrt{AverageDE_i / \Delta N}.$$

4.3. Если фрейм содержит тональные (шумные звонкие, сонорные или гласные) звуки, т. е.  $n = 3$ , и для вейвлет-коэффициентов выполняется условие

$$d_{im}^2 < AverageDE_i / \Delta N,$$

то они обнуляются:  $d_{im} = 0$ , иначе заменяются разностью

**Восстановление сигнала.** По полученным новым вейвлет-коэффициентам производится реконструкция сигнала

$$\tilde{x}(n) = \sum_i \sum_l d_{il} a_0^{-i/2} \psi(a_0^{-i} n - b_0 l).$$

## 4. Численное исследование методик

Эффективность методик ФЕОС-ДПФ, ФЕОС-ДВП, ФЕОС-НВП оценивается по функционалу ошибки (1):

$$F = \sum_{s=1}^{N/\Delta N} \left( \frac{\sum_{n=0}^{\Delta N} (\tilde{x}_s^*(n) - \tilde{x}_s(n))^2}{\sum_{n=0}^{\Delta N} (\tilde{x}_s^*(n))^2} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\tilde{x}_s(n)$  – полученный очищенный сигнал;

$\tilde{x}_s^*(n)$  – ожидаемый сигнал.

Для проведения численного исследования авторские методики ФЕОС-ДПФ, ФЕОС-ДВП, ФЕОС-НВП были программно реализованы.

Для методики ФЕОС-ДПФ в качестве длины фрейма выбиралось  $\Delta N = 512$  (примерно 20 мс), количество уровней  $P=8$ . Для методики ФЕОС-ДВП в качестве длины фрейма выбиралось  $\Delta N = 512$  (примерно 20 мс), количество уровней  $P=8$ , использовался вейвлет Добеши порядка  $M=4$ . Для методики ФЕОС-НВП в качестве длины фрейма выбиралось  $\Delta N = 512$  (примерно 20 мс), количество уровней  $P=50$ , использовался вейвлет Морле. В качестве сигнала было выбрано 100 реализаций слова «Саша» с частотой дискретизации 22050 Гц, 8-бит, моно.

На рис. 1 – 11 приведены: исходный сигнал (рис. 1); сигнал, зашумленный розовым шумом (рис. 2); сигналы, очищенные с помощью методов спектрального вычитания – фильтрации ( $\alpha = 1, \beta = 0, \nu = 1$ ) (рис. 3), MLEE (рис. 4), EMSR ( $\eta = 0,98$ ) (рис. 5), сглаживающего фильтра ( $\alpha = 1, \beta = 0, \nu = 1, \lambda_F = 0,9$ ) (рис. 6), EVRC ( $\alpha = 0,55, \beta = 0,1, Q = 8$ ) (рис. 7); сигнал, очищенный с помощью жесткой пороговой обработки (рис. 8); сигналы, очищенные с помощью авторских методик – ФЕОС-ДПФ (рис. 9), ФЕОС-ДВП (рис. 10) и ФЕОС-НВП (рис. 11).

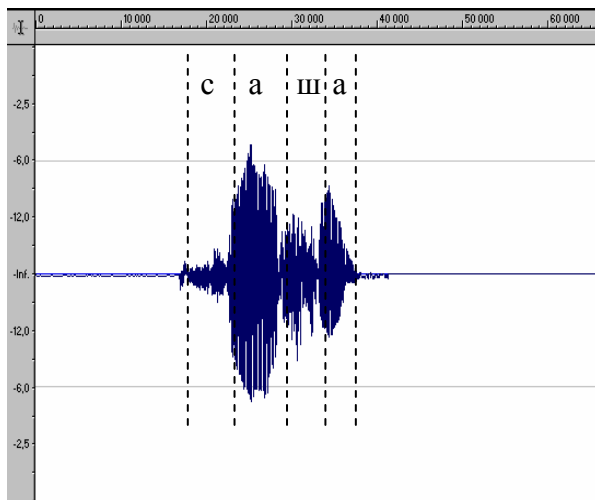


Рис. 1. Исходный сигнал «Саша»

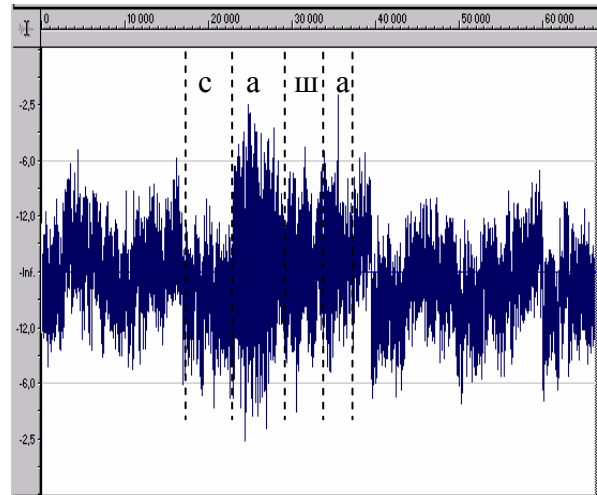


Рис. 2. Сигнал, зашумленный розовым шумом

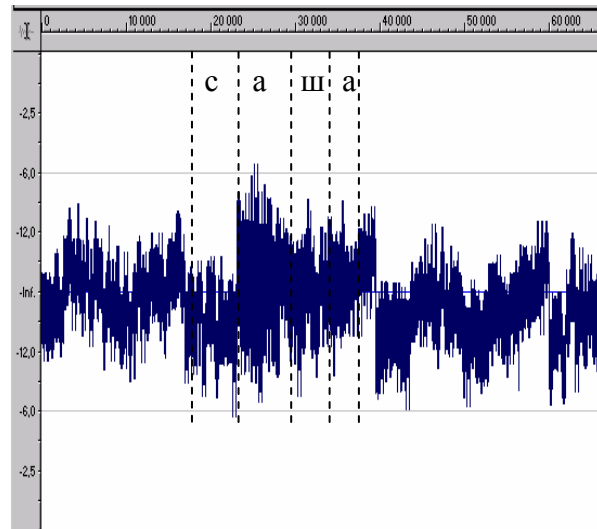


Рис. 3. Сигнал, очищенный с помощью фильтрации (по Боллу)

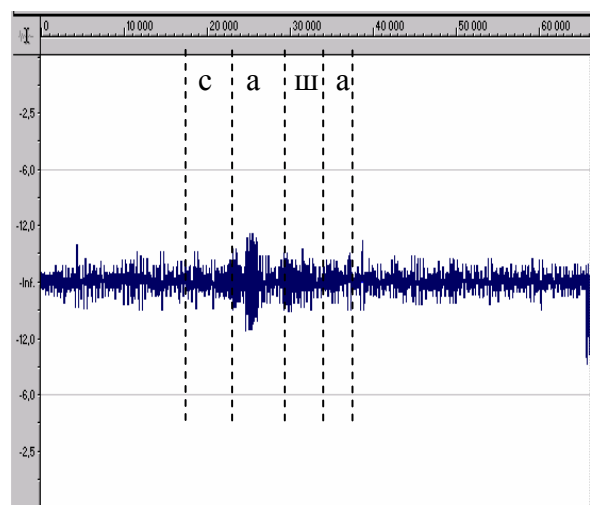


Рис. 4. Сигнал, очищенный с помощью MLEE

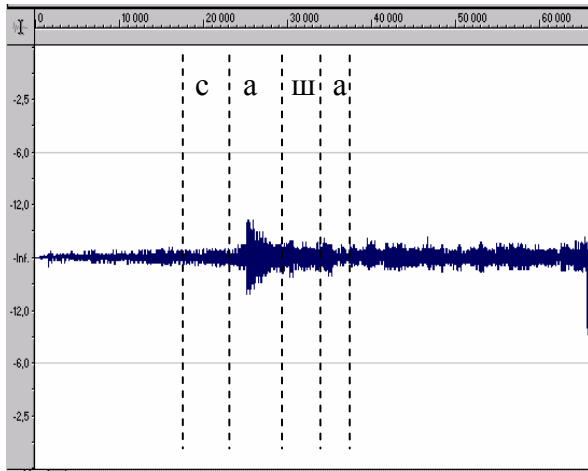


Рис. 5. Сигнал, очищенный с помощью EMSR

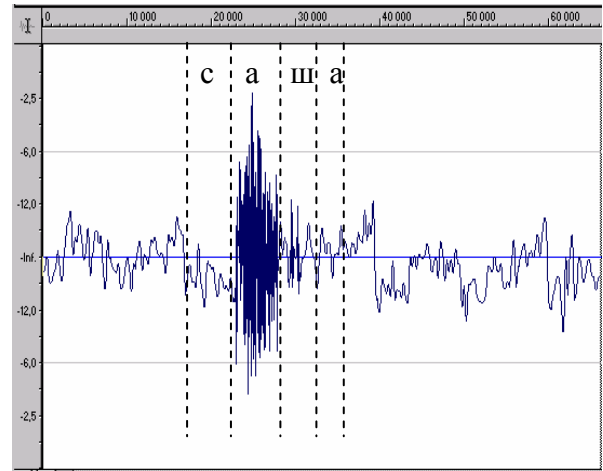


Рис. 8. Сигнал, очищенный с помощью жесткого порога

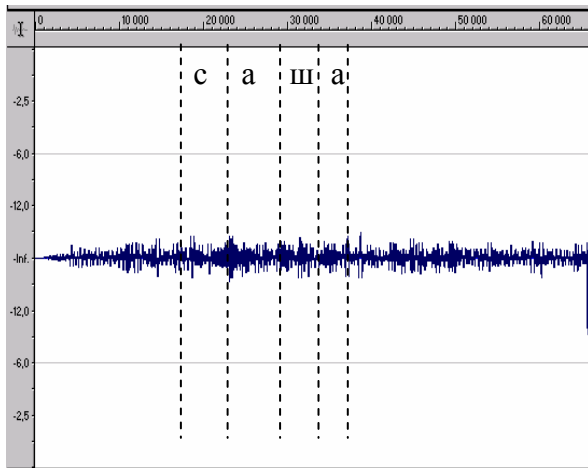


Рис. 6. Сигнал, очищенный с помощью сглаживающего фильтра

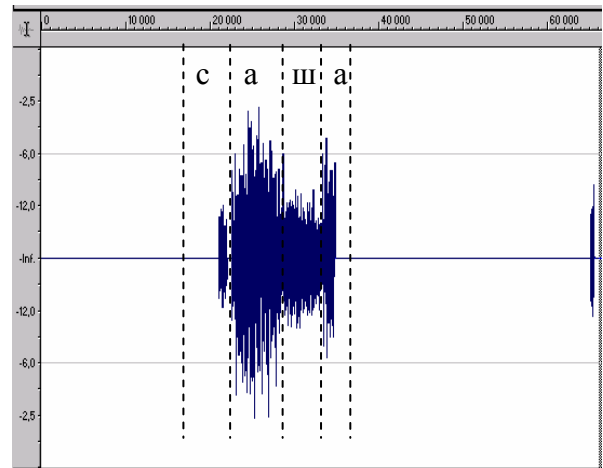


Рис. 9. Сигнал, очищенный с помощью ФЕОС-ДПФ

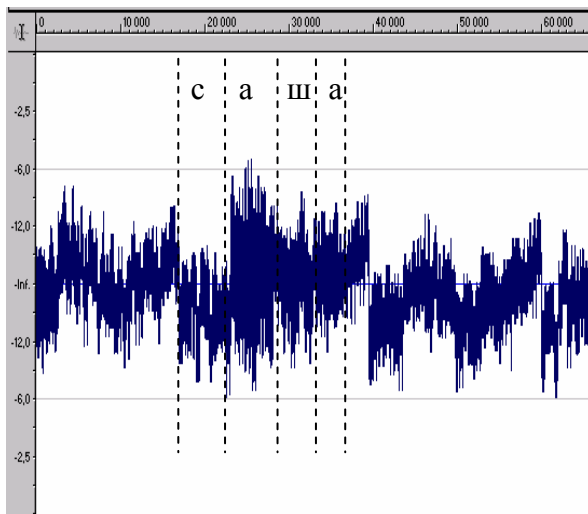


Рис. 7. Сигнал, очищенный с помощью EVRC

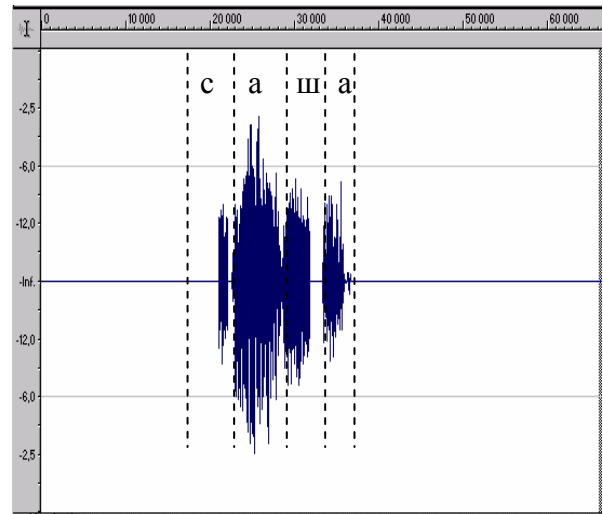


Рис. 10. Сигнал, очищенный с помощью ФЕОС-ДВП

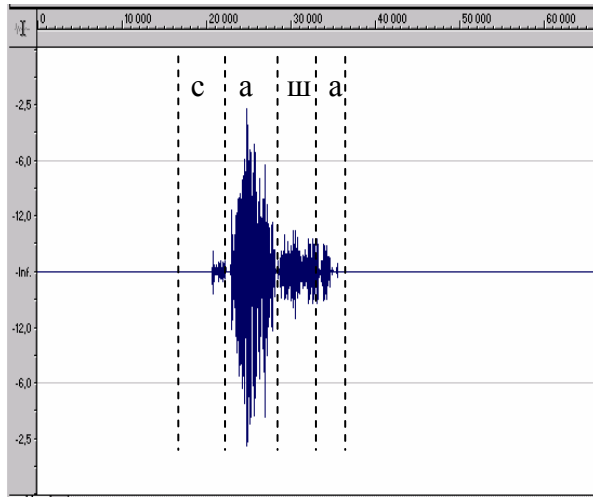


Рис. 11. Сигнал, очищенный с помощью ФЕОС-НВП

Численное исследование позволяет сделать вывод, что в отличие от методов спектрального вычитания (рис. 3 – 7) и пороговой обработки (рис. 8), реализованные авторские методики ФЕОС полностью подавляют шум в сигнале слева и справа от произнесенного слова (рис. 9 – 11). Методики очистки от розового шума были оценены по функционалу ошибки (1). Согласно табл. 1, из методик ФЕОС наиболее перспективной (математическое ожидание  $m(F) = 77$  для розового шума при среднеквадратическом отклонении 0,05) является ФЕОС-НВП.

Таблица 1

Результаты численного исследования методик шумоочистки для розового шума

Методика	$m(F)$
Болла	9123650
MLEE	387731
EMSR	180327
сглаживающий фильтр	202621
EVRC	8322940
жесткий порог	5918960
ФЕОС-ДПФ	101515
ФЕОС-ДВП	87
ФЕОС-НВП	77

## Выводы

**Новизна.** В статье предложены методики подавления розового шума в сигнале, основанные на преобразовании Фурье, дискретном и непрерывном вейвлет-преобразовании, связанных с классификацией звуков речи; проведено численное исследование программно реализованных методик со стандартными методами спектрального вычитания.

**Практическое значение.** Основные положения данной работы предназначены для реализации в интеллектуальных системах управления, в которых команды поступают на естественном языке.

## Литература

1. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.
2. Федоров Е.Е., Шелепов В.Ю. Автоматическое определение начала и конца записи речи // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 295-298.
3. Ермоленко Т.В. Фонетический анализ речевого сигнала на основе вейвлет-разложения // Искусственный интеллект. – 2003. – №3. – С. 409-416.
4. Современный русский язык: Учеб. для филол. спец. высших учебных заведений / Под ред. В.А. Белошапковой. – М.: Азбуковник, 1997. – 928 с.
5. Секунов Н.Ю. Обработка звука на РС. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2001. – 1248 с.
6. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 448 с.

Поступила в редакцию 26.01.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.И. Чичикало, Донецкий национальный технический университет, Донецк.