

УДК 681.3.06

В.І. Черныш, І.О. Жуков

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АКУСТИЧНОГО МАСКУВАННЯ**

*Розглянуті основні типи шумових перешкод системи акустичних маскувань. Побудовані графіки залежності мовної розбірливості  $W$  (%) від інтегральної у смузі частот 100 ... 10000 Гц відношеннями сигнал / шум  $q$  (дБ). Зроблені висновки, щодо необхідності впровадження генераторів шуму.*

**Ключові слова:** маскування, мовна інформація, генератори шуму.

**Вступ**

Захист акустичної (мовної) інформації є однією із найважливіших задач у загальному комплексі заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки об'єкта або установи та здійснюється використанням пасивних і активних методів.

Пасивні методи захисту інформації, як правило, реалізуються при будівництві або реконструкції будівель на етапі розробки проектних рішень, що дозволяє заздалегідь врахувати типи будівельних конструкцій, способи прокладання комунікацій, оптимальні місця розміщення виділених приміщень.

В даний час створена велика кількість різних систем активного акустичного маскування, успішно використовуються для придушення засобів перехоплення мовної інформації. До них відносяться: системи "Заслін", "Кабінет", "Барон", "Поріг-2М", "Фон-В", "Шерех", VNG-006, ANG-2000, NG-101 і т.д. [1].

До основних характеристик генераторів шуму, що впливають на ефективність захисту мовної інформації, відносять: вид і діапазон частот, амплітудно-частотна характеристика, кількість лінійних виходів, тип вібровипромінювача, а також – можливість регулювання потужності і огинання спектром перешкоди в кожному каналі.

У системах акустичних маскувань використовуються шумові перешкоди наступних видів:

- «білий» шум (шум з постійною спектральною щільністю в мовному діапазоні частот);
- «рожевий» шум (шум з тенденцією спаду спектральної щільності 3 дБ на октаву в бік високих частот);
- шум з тенденцією спаду спектральної щільності 6 дБ на октаву у бік високих частот;
- шумова "мовноподібна" перешкода (шум, що облямовує амплітудний спектр).

Оцінка ефективності систем акустичного маскування здійснюється інструментально-розрахунковим методом, заснованому на результатах експериментальних досліджень, проведених Н.Б. Покровським [3]. Суть цього методу полягає в наступному [2, 3].

Спектр мови розбивається на  $N$  довільних частотних смуг.

Для кожної  $i$ -ої ( $i=1 \dots N$ ) частотної смуги на се-

редньогометричній частоті  $f_{cp,i} = \sqrt{f_{v,i} \cdot f_{n,i}}$  визначається форматний параметр  $\Delta A_i$ , котрий характеризує енергетичну надмірність дискретної складової мовного сигналу:

$$\Delta A_i = L_{c,i} - A_i = \Delta A(f_{cp,i}), \text{ дБ}, \quad (1)$$

де  $L_{c,i}$  – середній спектральний рівень мовного сигналу в місці вимірювання  $i$ -ої спектральної смуги, дБ;  $A_i$  – середній спектральний модальний рівень формант (під формантою розуміється область частот, характерна для певного звуку [3]) в  $i$ -й спектральній смузі, дБ;  $\Delta L(f_{v,i})$  та  $\Delta L(f_{n,i})$  – значення вагового коефіцієнта для верхньої  $f_{v,i}$  та нижнього  $f_{n,i}$  граничної частоти  $i$ -ої частотної смуги спектра мовного сигналу.

Для кожної  $i$ -ої частотної смуги визначається ваговий коефіцієнт  $k_i$ , що характеризує ймовірність наявності формант промови у цій смузі:

$$k_i = k(f_{v,i}) - k(f_{n,i}) \quad (2)$$

де  $k(f_{v,i})$  та  $k(f_{n,i})$  – значення вагового коефіцієнта для верхньої  $f_{v,i}$  та нижньої  $f_{n,i}$  граничної частоти  $i$ -ої частотної смуги спектра мовного сигналу.

Для кожної частотної смуги на середньогометричній частоті  $f_{cp,i}$  визначається коефіцієнт сприйняття слуховим апаратом людини  $p_i$ , що представляє собою ймовірно відносну кількість формантних складових мови, котрі мають рівні інтенсивності вище порогового значення, що залежить від відношення сигнал/шум  $q_i$  [4].

Спектральний індекс артикуляції мови  $R_i$  та інтегральний індекс артикуляції мови  $R$  визначаються:

$$R_i = p_i \cdot k_i; \quad (3)$$

$$R = \sum_{i=1}^N R_i. \quad (4)$$

За інтегральним індексом артикуляції мови визначаються складові  $S$  та  $W$ . Залежності  $\Delta A(f)$ ,  $k(f)$ ,  $p_i$  ( $q_i$ ),  $S(R)$  и  $W(S)$  визначені Н.Б.Покровським експериментально та представлені у вигляді графіків в [3]. Ці графіки можна апроксимувати такими аналітичними відношеннями [2]:

$$\kappa(f) = \begin{cases} 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot f^{2,4} \\ 1 - 1,074 \exp(-10^{-4} \cdot f^{1,18}) \end{cases}; \quad (5)$$

$$\Delta A(f) = \begin{cases} 200 / f^{0,43} - 0,37 \\ 1,37 + 1000 / f^{0,69} \end{cases}; \quad (6)$$

$$p_i = \begin{cases} \frac{0,78 + 5,46 \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{якщо } Q_i \leq 0; \\ 1 - \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{якщо } Q_i > 0, \end{cases} \quad (7)$$

де  $Q_i = L_{c,i} - L_{ш,i} = (L_{c,i} - \Delta A_i) - L_{ш,i} = q_i - \Delta A_i$ ;  $L_{ш,i}$  – рівень шуму (перешкоди) на  $i$ -й спектральній смузі, дБ;  $q_i = L_{c,i} - L_{ш,i}$  – відношення "рівень мовного сигналу / рівень шуму", дБ.

$$S = \begin{cases} 4 \cdot R^{1,43}, & \text{якщо } R \leq 0,15; \\ 1,1 \cdot [1 - 1,17 \cdot \exp(-2,9 \cdot R)], & \text{якщо } 0,15 \leq R \leq 0,7; \\ 1,01 \cdot [1 - 9,1 \cdot \exp(-6,9 \cdot R)], & \text{якщо } R > 0,7. \end{cases} \quad (8)$$

$$W = 1,05 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{6,15 \cdot S}{1 + S}\right) \right]. \quad (9)$$

З урахуванням формул (8) та (9) ми можемо легко отримати залежність мовної розбірливості від інтегрального індексу артикуляції мови:

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{0,25} [1 - \exp(-11 \cdot R)], & \text{якщо } R < 0,15; \\ 1 - \exp\left(-\frac{11 \cdot R}{1 + 0,7 \cdot R}\right), & \text{якщо } R \geq 0,15. \end{cases} \quad (10)$$

Аналіз формул (1) – (10) показує, що для оцінки чіткості мовний діапазон доцільно розбивати на спектральні смуги, що вносять однаковий внесок у розбірливість мовлення, а саме, мають однаковий ваговий коефіцієнт  $\kappa_i$ .

Проведені у відповідність з формулами (1) – (10) розрахунки показали, що помилка в розрахунку розбірливості мови при вимірюванні в семи октавних смугах в порівнянні з вимірюванням у двадцяти рівноартикуляційних смугах значно залежить від типу шуму і при значеннях мовної розбірливості у межах  $W = 30 \dots 80\%$  не перевищує  $1 \dots 2\%$  для «мовноподібної» перешкоди,  $3 \dots 5\%$  – для «білого» та «рожевого» шумів та  $15\%$  – для шуму з тенденцією спаду спектральної щільності 6 дБ на октаву в бік високих частот [4].

Залежність мовної розбірливості  $W$  (%) від інтегральної у смузі частот 100 ... 10000 Гц відношеннями сигнал / шум  $q$  (дБ), при вимірюванні рівнів сигналу і шуму в 20-ти рівноартикуляційних (1) та 7-ми октавних (2) смугах, для «білого», «рожевого» шуму, шуму з тенденцією спаду спектральної щільності 6 дБ на октаву в бік високих частот та шумову "мовноподібну" перешкоду проілюстро-

вано на рис. 1 – 4:

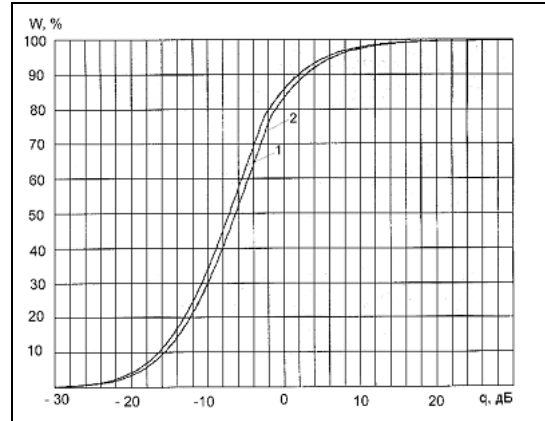


Рис. 1. «Білий» шум (шум з постійною спектральною щільністю в мовному діапазоні частот)

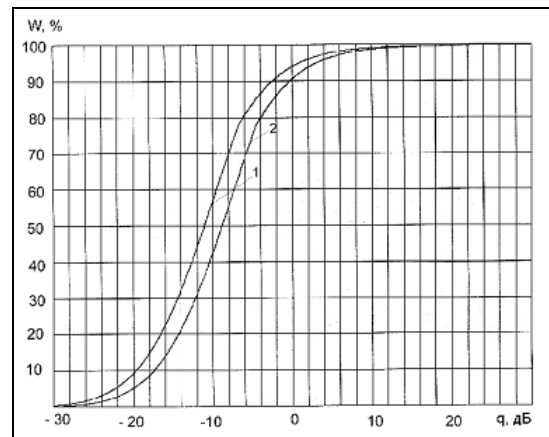


Рис. 2. Шум з тенденцією спаду спектральної щільності 6 дБ на октаву в бік високих частот

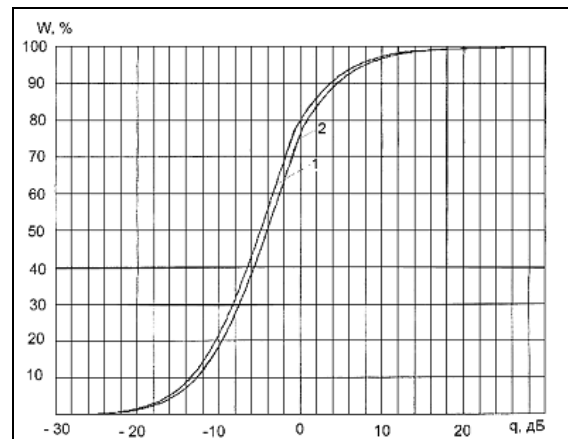


Рис. 3. «Рожевий» шум (шум з тенденцією спаду спектральної щільності 3 дБ на октаву у бік

високих частот)

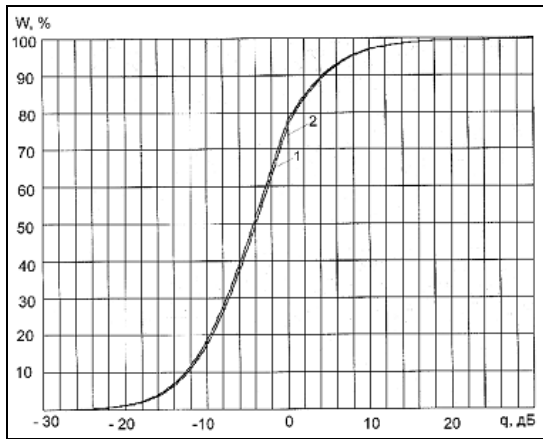


Рис. 4. Шумова «мовноподібна» перешкода

За допомогою метода математичного моделювання та за допомогою формул (1) – (10) отримані залежності мовної розбірливості  $W$  від інтегрального співвідношення сигнал / шум  $q$  в п'яти октавних смугах (у смузі частот 180 – 5600 Гц) при різному вигляді шумових перешкод, які представлені на рис. 5.

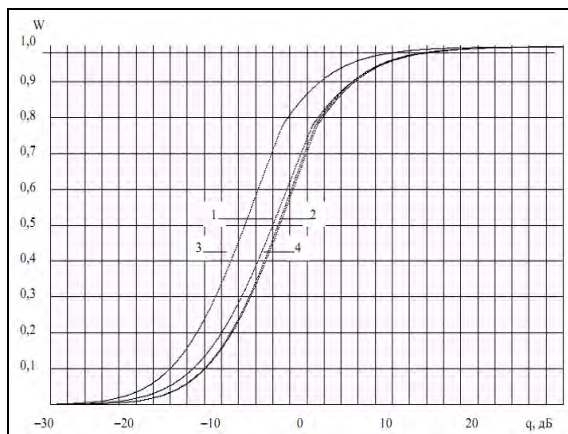


Рис. 5. Залежність мовної розбірливості  $W$  від інтегрального співвідношення сигнал / шум  $q$  в смузі частот 180 ... 5600 Гц: 1 – "білий" шум; 2 – "рожевий" шум; 3 – шум зі спадом спектральної щільності 6 дБ на октаву в бік високих частот; 4 – шумова «мовноподібна» перешкода

## Висновки

Критерій ефективності захисту акустичної (мовної) інформації залежить від мети, переслідуваної при організації захисту, наприклад:

- приховати смисловий зміст розмови;
- приховати тематику розмови, котра ведеться.

Генератори шуму можуть захистити розмови від прослуховування. Однак, варто зазначити, що при цьому співрозмовникам доведеться миритися з деякими незручностями [5]. Оскільки їм теж будуть заважати перешкоди, що виробляє пристрій. Саме тому таке використання генераторів шумових перешкод багатьох не влаштує. У деяких випадках вони абсолютно незамінні, наприклад тоді, коли переговори доводиться проводити в приміщеннях, які неможливо перевірити на відсутність акустичних закладних пристроїв.

## Список література

1. Хорев А.А. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации / А.А. Хорев, Ю.К. Макаров // Специальная техника. – М.: 2000. – С. 15-17.
2. Железняк, В.К. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации / В.К. Железняк, Ю.К. Макаров, А.А. Хорев // Специальная техника. – М.: 2000. – С. 121-124.
3. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи / Н.Б. Покровский. – М.: Связьиздат, 1962. – 110 с.
4. Золотарев В.И. Акустическая защита конфиденциальных переговоров [Текст] / В.И. Золотарев // Конфидент. – 2001. – № 4. – С. 48-49.
5. Борьба с шумом на производстве: справочник [Текст] / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов и др.; под общ. ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1999. – 400 с.

Надійшла до редколегії 9.11.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКИ

В.И. Черныш, И.О. Жуков

Рассмотрены основные типы помех системы акустической маскировки. Построены графики зависимости языковой разборчивости  $W$  (%) от интегральной в полосе частот 100 ... 10000 Гц отношениями сигнал / шум  $q$  (дБ). Сделаны выводы относительно необходимости внедрения генераторов шума.

**Ключевые слова:** маскировка, речевая информация, генераторы шума.

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF ACOUSTIC MASKING

V.I. Chernish, I.O. Zhukov

The main types of noise the acoustic masking. Graphs of dependence of the linguistic intelligibility  $W$  (%) of the integral in the frequency band 100 ... 10000 Hz signal / noise ratio  $q$  (dB). The conclusions regarding the need to introduce noise generators.

**Keywords:** masking, voice, noise generators.