УДК 621.396.13:004.056.5

Антонов В.В., Голубничий О.Г.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ, ЩО Є ПРИЙНЯТНИМИ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗАХИЩЕНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

В статті проаналізовано критерії якості передавання мовної інформації. Визначено методику знаходження індексів артикуляції мови. Аналітично визначено параметри розбірливості мови, що є прийнятними для авіаційних систем радіозв'язку.

Ключові слова: артикулярні вимірювання, формант, розбірливість

Критерії якості передавання мовної інформації. Одним із розповсюджених нормуючих показників якості передавання мовного трафіка є показник розбірливості мови W, під котрим розуміється відносна кількість (у відсотках) правильно прийнятих елементів артикуляційних таблиць , що були передані через канал транспортування мовної інформації [1]. В якості елементів артикуляційних таблиць використовують складові слів, окремі слова або окремі фрази. Зазвичай оцінювання розбірливості мови здійснюється за методом артикуляційних вимірювань [2], коли три різні диктори (не менше) вимовляють послідовності елементів артикуляційних таблиць, що передаються через канал, а на приймальній стороні три різних аудитори намагаються розпізнати ці елементи на свій суб'єктивний слух. Тривалість одного сеансу вимірювань повинна не перевищувати чотирьох годин на добу, а повна серія вимірювань за статистичними критеріями має здійснюватися кілька тижнів [3]. Показник W можливо використати і для оцінки ефективності системи захисту мовної інформації, але через його суб'єктивний характер та довгу тривалість вимірювань в експлуатаційній практиці він знайшов обмежене застосування.

Більш прийнятним на практиці є інструментально-розрахунковий метод оцінки розбірливості мови [1] за індексами артикуляції, що не потребує безпосередніх артикуляційних вимірювань.

Методика визначення індексів артикуляції мови. Методика оцінювання розбірливості мови за індексами артикуляції полягає в наступному.

1) Спектр мови розбивається на N частотних смуг (в загальному випадку смуги обираються довільно) та для кожної i-ої смуги, де i = 1,2, …, N, на середньо геометричній частоті $f_{\text{ср.i}}$ = SQRT ($f_{\text{в.i}}$ $f_{\text{н.i}}$) визначається формантний параметр ΔA_{i} , що характеризує енергетичну надлишковість обраної смуги спектру мовного сигналу:

$$\Delta A_{\text{i}} = L_{\text{с.i}} - A_{\text{i}}, \text{ дБ}, \tag{1}$$

де $L_{\text{с.i}}$ – середньосмуговий рівень мовного сигналу у визначеній точці вимірювань на i-ій спектральній смузі, *дБ*; A_{i} – середньосмуговий модальний рівень формант на i-ій смузі, *дБ* (форманта – це певна область частот, що є характерною для певного звуку і визначається, зокрема, у [1]).

Апроксимована залежність формантного параметру ΔA від частоти f отримана у [1] (похибка апроксимації не більше 1%) та має наступний вигляд:

$$\begin{cases} 200/f^{0,43} - 0,37, & \text{якщо } f \le 1000 \text{ Гц}; \\ \Delta A\,(f) = & \\ 1,37 + 1000/f^{0,69}, & \text{якщо } f > 1000 \text{ Гц}. \end{cases} \tag{2}$$

Значення ΔA_{i} можливо визначати і по графіку рис.1, якщо прийняти, що $f = f_{\text{ср.i}}$.

2) Для кожної i-ої смуги визначається коефіцієнт k_{i} , що характеризує ймовірність появи формант мови у цій смузі:

$$k_{\text{i}} = k\,(f_{\text{в.i}}) - k\,(f_{\text{н.i}}), \tag{3}$$

де $k\ (f_{в.і}\ )$ та $k\ (f_{н.і}\ )$ – значення вагового коефіцієнту для верхньої $f_{в.і}$ та нижньої $f_{н.і}$ граничних частот i-ої частотної смуги спектру мовного сигналу.

Апроксимована залежність вагових коефіцієнтів від частоти f отримана у [1] (похибка апроксимації не більше 1%) та має наступний вигляд:

$$k(f) = \begin{cases} 2.57\ 10^{-8}\ f^{2,4}, & \text{якщо } 100 < f \le 400\ Гц; \\ 1,0 - 1,074\ \exp(-10^{-4}\ f^{1,18}), & \text{якщо } 400 < f \le 10000\ Гц. \end{cases} \quad (4)$$

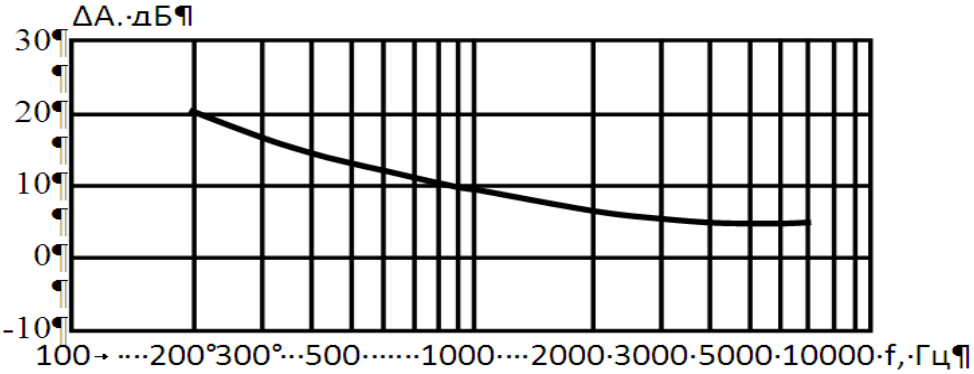

Рис.1. Залежність енергетичної надлишковості дискретних складових мовного сигналу від частотних смуг спектру мовного сигналу

Значення вагових коефіцієнтів можливо визначати і по графіку рис.2, якщо прийняти, що $f = f_{в.і}$ та $f = f_{н.і}$. Цей графік являє функцію розподілу формант, що характеризує ймовірність появи формант на різних ділянках мовного спектру [1].

3) Різні форманти по різному сприймаються слуховим апаратом людини. Тому для кожної частотної смуги на середньо геометричній частоті $f_{ср.і}$ визначається коефіцієнт сприймання формант p_i, що являє ймовірну відносну кількість формантних складових мови, котрі будуть мати рівні інтенсивності вище за певний пороговий рівень.

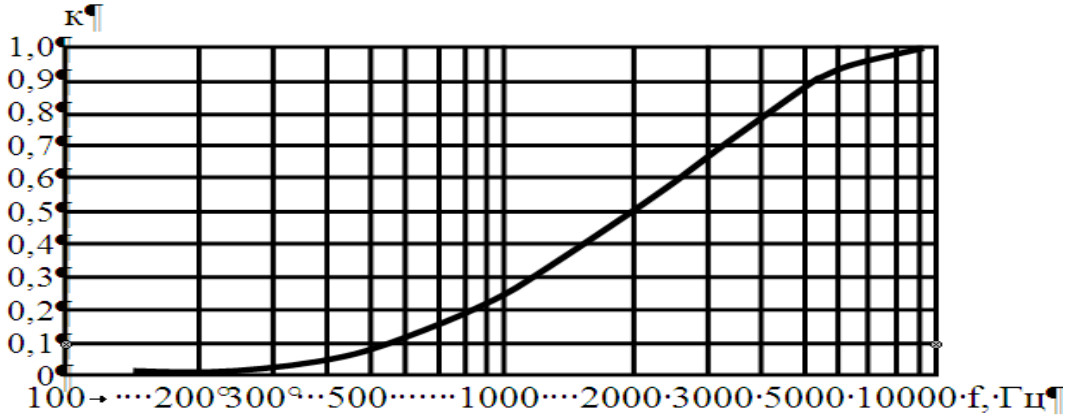

Рис.2. Функція розподілу формант за ділянками спектру мови

Апроксимована залежність цього коефіцієнту від відносного рівня інтенсивності формант Q отримана у [1] (похибка апроксимації не більше 1%) та має наступний вигляд:

$$p_i = \begin{cases} \dfrac{0,78 + 5,46 \cdot \exp\left[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |\ \ |^2\right]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}} & \text{якщо } êùî \quad Q_i \le 0; \\ 1 - \dfrac{0,78 + 5,46 \cdot \exp\left[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |\ \ |^2\right]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}} & \text{якщо } êùî \quad Q_i \rangle 0, \end{cases} \quad (5)$$

де $Q_i = A_i - L_{ш.i} = (L_{с.i} - \Delta A_i) - L_{ш.i} = q_i - \Delta A_i$; $L_{ш.i}$ - рівень шуму (завади) у точці вимірювань на i-ій спектральній смузі, дБ; $q_I = L_{с.i} - L_{ш.i}$ - відношення рівня мовного сигналу до рівня шуму, дБ.

Коефіцієнт сприймання формант p_i можливо визначати і по графіку рис.3 [1], якщо прийняти, що $f = f_{ср..i}$

Із урахуванням (3) та (5) визначається спектральний індекс артикуляції мови R_i, який характеризує інформаційну вагу і-ої спектральної смуги частотного діапазону мови:

$$R_i = p_i k_i . \qquad (6)$$

4) Розраховується інтегральний індекс артикуляції мови R за формулою

$$R = \sum R_i . \qquad (7)$$

Аналітичне визначення параметрів розбірливості мови, що є прийнятними для авіаційних систем радіозв'язку. У [1] наведена залежність параметрів розбірливості мови (розбірливості за складами слів S та розбірливості за словами W) від індексів артикуляції. Зокрема, апроксимована залежність параметру розбірливості за складами слів S від інтегрального індексу артикуляції R (похибка апроксимації не більше 1%) має наступний вигляд:

$$S = \begin{cases} 4\,R^{1.43}, \text{ якщо } R \le 0{,}15; \\ 1{,}1\,[1{,}0 - 1{,}17 \exp(-2{,}9\,R)], \text{ якщо } 0{,}15 \le R \le 0{,}7; \\ 1{,}01\,[1{,}0 - 9{,}1 \exp(-6{,}9\,R)], \text{ якщо } R > 0{,}7. \end{cases} \qquad (8)$$

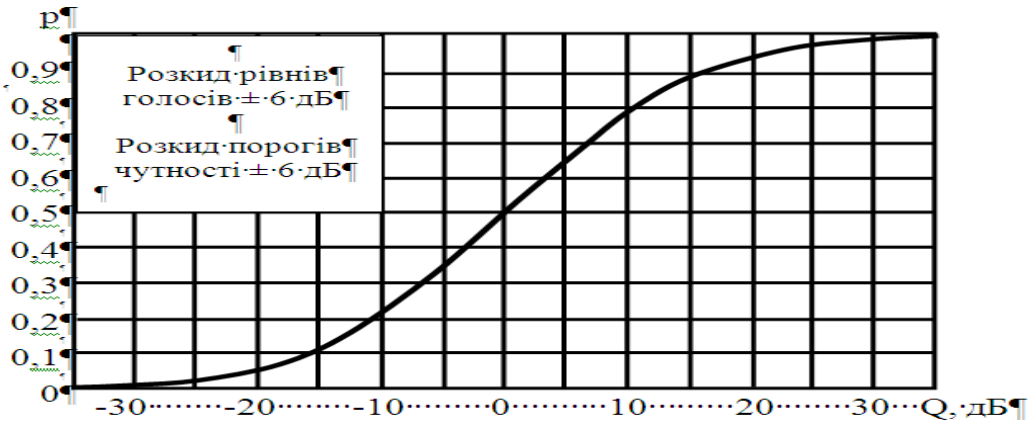

Рис.3. Залежність коефіцієнту сприймання формант p від відносного рівня інтенсивності формант Q

Параметр розбірливості за складами слів S можливо визначати і по графіку рис.4 [1].

У свою чергу, шуканий параметр розбірливості мови за словами W залежить від параметру розбірливості за складами слів S . Апроксимована залежність W від S отримана у [1] (похибка апроксимації не більше 1%) та має наступний вигляд:

$$W = 1{,}05\ [1{,}0 - \exp(-6{,}15\,S / (1 + S))]. \qquad (9)$$

Графік цієї залежності надано на рис.5.

Знаючи (8) та (9), отримують наступне апроксимоване аналітичне співвідношення, що характеризує залежність параметру розбірливості мови за словами від інтегрального індексу артикуляції цієї мови [1]:

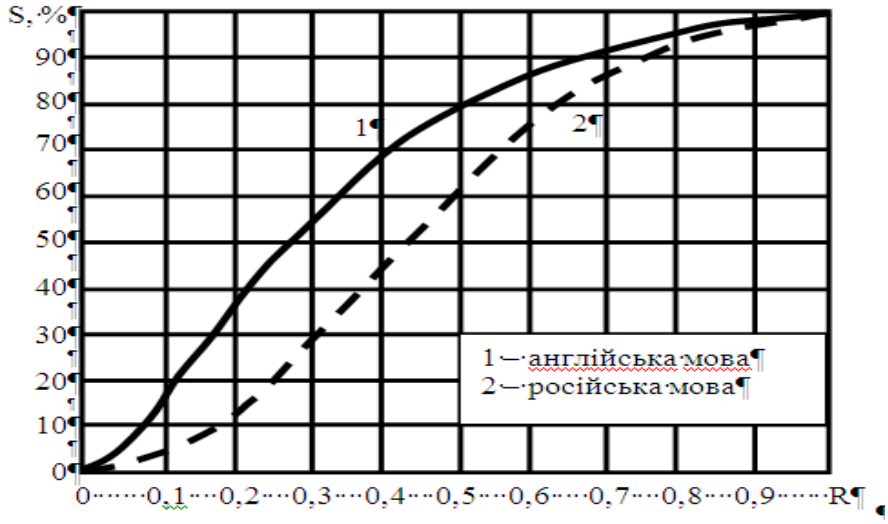

Рис.4. Залежність розбірливості за складами слів *S* від інтегрального індексу артикуляції *R*

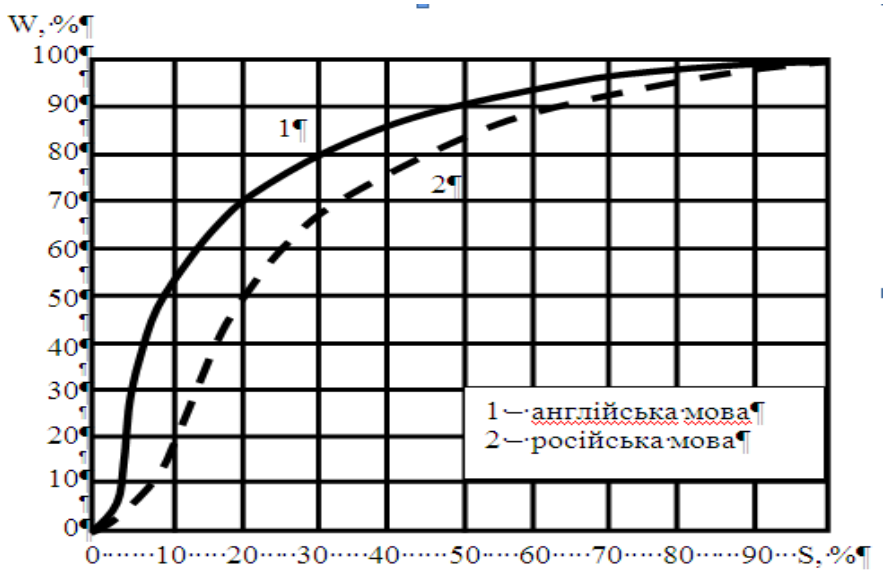

Рис.5. Залежність розбірливості за словами *W* від розбірливості за складами *S*

$$W = \begin{cases} 1{,}54\, R^{0{,}25}\ [1{,}0 - \exp(-11\, R)], & \text{якщо } R \le 0{,}15; \\ 1{,}0 - \exp(-11\, R\ /\ (1 + 0{,}7\, R)), & \text{якщо } R \ge 0{,}15. \end{cases} \qquad (10)$$

Було створено експериментальну установку на базі фізичної моделі мовного тракту авіаційного радіоканалу та розроблено методику експериментального оцінювання якості передачі даних через цей тракт. Проведено експеримент із визначення параметру розбірливості за словами *W*, який обрано в якості критерію якості передавання мовної інформації через некогерентну системи зв'язку, та за його результатами оцінена придатність некогерентного модему для використання у складі захищеного авіаційного радіоканалу.

Висновки. 1. Інструментально-розрахунковий метод оцінки розбірливості мови [1] за індексами артикуляції є прийнятним в авіаційних системах зв'язку, оскільки має об'єктивний

характер і не потребує безпосередніх артикуляційних вимірювань. Показник *W* можливо використати і для оцінки ефективності системи

2. За результатами експерименту виявилось, що параметр розбірливості за словами *W*, оцінений з використанням інструментально-розрахункового методу, дорівнює у середньому 91%. Таким чином, отриманий результат показав, що некогерентна система передачі на швидкості 6,2 кбіт/с при перевищенні рівню сигналу над шумом у 25 дБ здатна забезпечити високу якість передачі мовної інформації через вузько смуговий канал, що задовольняє вимогам більшості критичних авіаційних застосувань. Так що некогерентний модем є придатним для використання у складі захищеного авіаційного радіоканалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хорев А.А., Макаров Ю.К. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации //Специальная техника, № 5, 2000, с. 46 – 56.

2. Дворянкин С. В., Макаров Ю. К., Хорев А. А.. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам // Конфидент, № 2. 2007.

3. Железняк, В.К., Макаров Ю.К., Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации//Специальная техника, 2000, №4, с.39–45.

Надійшла: 15.12.2011

Рецензент: д.т.н., проф. Давлет’янц О.І.