

УДК 534.6.08

М.Г. Романюков

Головне управління міністерства внутрішніх справ України в Одеській області, Одеса

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНОЇ ТЕХНІКИ ВІБРОАКУСТИЧНОГО ЗАХИСТУ В УКРАЇНІ

Захист мовної інформації являється однією з найбільш важливих задач в комплексі заходів по забезпеченню інформаційної безпеки об'єкта чи організації. В Україні, згідно діючого НДТЗІ, в якості захисного сигналу використовуються виключно найпростіші однокомпонентні захисні завади типу «білий шум» та «рожевий шум». Діапазон робочих частот вихідного сигналу повинен охоплювати не менше п'яти октав з частотами 18-5600 Гц. Саме такий діапазон мають всі прилади віброакустичного захисту, представлені на вітчизняному ринку. Однак слуховий апарат людини здатен реєструвати розмову в більш широкій смузі частот 90-11200 Гц, що охоплює сім октавних смуг. Звідси виникає необхідність розглянути розрахунково-інструментальний метод, оснований на результатах експериментальних досліджень, проведених М.Б. Покровським. Використовуючи процедуру універсального симплексного методу, розрахувати максимальний рівень розбірливості мови в окремих семиоктавних смугах.

**Ключові слова:** розбірливість мови, віброакустичні канали витоку, активний захист мовної інформації.

### Вступ

Віброакустичні канали витоку мовної інформації являються одними з найбільш доступних для несанкціонованого зйому приховуваних даних, навіть без застосування спеціальних технічних засобів. Саме тому техніка віброакустичного захисту (ТВЗ) мовної інформації продовжує зберігати свою актуальність, а ТВЗ що випускається продовжує залишатись затребуваною. Як підтвердження тому, зростання попиту на встановлення систем ТВЗ як в приватних так і в державних установах [1].

**Мета роботи.** Розглянути розрахунково-інструментальний метод, оснований на результатах експериментальних досліджень, проведених М.Б. Покровським. Провести аналіз сучасної техніки віброакустичного захисту. Використовуючи процедуру універсального симплексного методу, розрахувати максимальний рівень розбірливості мови в окремих семиоктавних смугах.

### Основна частина

Захист мовної інформації являється однією з найбільш важливих задач в комплексі заходів по забезпеченню інформаційної безпеки об'єкта чи організації. Для її перехвату можливий «зловмисник» (одна або декілька осіб, які зацікавлені в отриманні інформації) можуть використовувати широкий арсенал портативних засобів акустичної (мовної) розвідки, що дозволяють перехоплювати мовну інформацію по прямому акустичному, віброакустичному, електроакустичному і оптикоелектронному (акустооптичному) каналах, до яких належать:

– портативна апаратура звукозапису (малогабаритні диктофони, магнітофони та засоби звукозапису на основі цифрової схемотехніки);

– направлені мікрофони;  
– електронні стетоскопи;  
– електронні засоби перехвату мовної інформації (закладні пристрої) з датчиками мікрофонного і контактного типів з передаванням перехопленої інформації по радіо, оптичному (в інфрачервоному діапазоні довжини хвиль) та ультразвуковому каналах, мережі електроживлення та телефонних лініях зв'язку;  
– оптикоелектронні, лазерні акустичні системи і т.д. [4].

Для забезпечення захисту акустичної конфіденційної інформації (далі КІ) важливе значення має виявлення і наступне блокування всіх каналів витоку, що мають вихід на зовнішнє середовище з приміщень, що підлягають захисту (службових кабінетів, переговорних кімнат і кабін, конференц-залів для роботи з КІ при проведенні нарад, переговорів, конференцій і т.п.). Для захисту мовної КІ застосовуються як пасивні (за рахунок ефектів екранування та поглинання звукових хвиль за допомогою звукоізолюваних приміщень, що підлягають захисту, переговорних кабін, ширм і штор, які часто замінюють терміном «огорожуючі конструкції»), так і системи активного захисту. Активний захист КІ оснований на використанні навмисних перешкод, призначених енергетичним способом (для маскуючих шумових перешкод) або шляхом нанесення максимально інформаційного збитку (для імітаційних перешкод) «зруйнувати» КІ-сигнали в каналах витоку, щоб унеможливити роботу зловмисника за допомогою наявних технічних засобів перехвату [3].

Практичний досвід показує, що створення детальної довідки за змістом перехопленої розмови неможливо при словесній розбірливості  $W$  (основний показник ефективності технічного захисту мовної інформації) менше 60 – 70 %, а короткої довідки-анота-

ції – при  $W$  менше 40 – 50 %. При  $W$  менше 20 – 30 % значно важко встановити навіть предмет розмови, а при словесній розбірливості менше 10 % це представляється майже неможливим навіть при використанні сучасної техніки фільтрації завад. Саме тому традиційно безпека мовної інформації на захищеному об'єкті визначається як такий стан об'єкту, при якому словесна розбірливість мови в можливому каналі її витоку не перевищує встановленого нормативного значення. Таке визначення безпеки мовної інформації по об'єкту в цілому, наприклад, виділеному приміщенню, може бути не прийнятним по наступним причинам. Основні принципи здобування інформації включають комплексність застосування відповідних способів і засобів, спільну обробку даних, що поступають з різних каналів витоку. Стосовно до підслухування можна очікувати, що апаратурою розвідки буде вестись реєстрація мовних сигналів декількома різноманітними датчиками (декількома, розташованими в різних місцях, стетоскопами, мікрофонами і т.д.), а дані, що поступають по різним каналам, можуть використовуватись в ході спільної обробки для підвищення перехопленої мовної інформації таким чином, що при виконанні нормативного значення на допустиму  $W$ , по кожному з каналів словесна розбірливість перехопленого повідомлення по «об'єкту» в цілому буде вище нормативного значення. В загальному випадку створені розвідкою канали витоку можуть бути розбиті на групи таким чином, що за відсутністю інформативного сигналу канали однієї групи статистично не залежні від каналів іншої [6].

Використання тих чи інших методів і засобів визначається характеристиками об'єкта захисту та техніки розвідки, умовами її ведення, а також вимогами, що висуваються до ефективності захисту акустичної (мовної) інформації.

Для оцінки розбірливості мови доцільно використовувати розрахунково-інструментальний метод, оснований на результатах експериментальних досліджень, проведених М.Б. Покровським. Суть даного методу полягає в наступному.

Енергетичний спектр мови розбивається на  $N$  частотних смуг в загальному випадку довільної ширини  $\Delta f = f_{\text{вi}} - f_{\text{нi}}$ . ( $f_{\text{вi}}$  – верхнє значення частоти  $i$ -ї смуги  $f_{\text{нi}}$  – нижнє значення частоти  $i$ -ї смуги). Для кожної  $i$ -ої ( $i=1\dots N$ ) частотної смуги інструментальним методом вимірюється рівень сигналу  $L_{\text{сi}}$ дБ та рівень шуму (завади)  $L_{\text{шi}}$ дБ. Далі для кожної  $i$ -ої частоти розрахунковим методом визначаються:

– відношення «рівень сигналу/рівень акустичного шуму (завади)» за формулою:

$$Q_i = L_{\text{сi}} - L_{\text{шi}}; \quad (1)$$

– форматний параметр  $\Delta f_{\text{ср.i}}$  на середньгеометричній частоті смуги  $f_{\text{ср.i}} = \sqrt{f_{\text{вi}} \cdot f_{\text{нi}}}$ , що харак-

теризує енергетичну надлишковість дискретної складової мовного сигналу у смузі, за формулою:

$$\Delta A(f_{\text{ср.i}}) = \begin{cases} \frac{200}{f_{\text{ср.i}}^{0,45}} - 0,37, \\ \text{якщо } f_{\text{ср.i}} \leq 1000 \text{ Гц;} \\ 1,37 + \frac{1000}{f_{\text{ср.i}}^{0,69}}, \\ \text{якщо } f_{\text{ср.i}} \geq 1000 \text{ Гц;} \end{cases} \quad (2)$$

– ваговий коефіцієнт смуги  $k_i$ , що характеризує ймовірність наявності формант мови в даній смузі за формулою:

$$k_i = k(f_{\text{вi}}) - k(f_{\text{нi}}), \quad (3)$$

де  $k(f_{\text{вi}})$  та  $k(f_{\text{нi}})$  – значення вагового коефіцієнта для верхньої  $f_{\text{вi}}$  та нижньої  $f_{\text{нi}}$  граничних частот, розрахованих за формулою:

$$k(f) = \begin{cases} 2,57 \cdot 10^{-8} \cdot f^{2,4}, \\ \text{якщо } 100 \leq f \leq 400 \text{ Гц;} \\ 1 - 1,074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot f^{1,18}), \\ \text{якщо } 400 \leq f \leq 10000 \text{ Гц;} \end{cases} \quad (4)$$

– спектральний індекс артикуляції (зрозумілості) мови  $R_i$  (інформаційна вага  $i$ -ї спектральної смуги частотного діапазону мови), за формулою:

$$R_i = p_i \cdot k_i, \quad (5)$$

де коефіцієнт  $p_i$  визначається за формулою:

$$p_i = \begin{cases} \frac{\left\{ 0,78 + 5,46 \cdot \exp\left[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|^2)\right] \right\}}{1 + 10^{0,1 \cdot |Q_i|}}, \\ \text{якщо } Q \leq 0; \\ 1 - \frac{\left\{ 0,78 + 5,46 \cdot \exp\left[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|^2)\right] \right\}}{1 + 10^{0,1 \cdot |Q_i|}}, \\ \text{якщо } Q \geq 0, \end{cases} \quad (6)$$

де  $Q_i = q_i - \Delta A_i$ .

Для загальної частотної смуги спектру мовного сигналу розраховуються:

– інтегральний індекс артикуляції мови  $R$ , за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^N R_i, \quad (7)$$

– складова розбірливість  $S$ , за формулою:

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

– словесна розбірливість  $W$ , за формулою:

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

Залежності  $\Delta A(f), k(f), p_i(q_i), S(R), W(S)$  встановлені М.Б. Покровським експериментально. Враховуючи (8) та (9), можна отримати залежності словесної розбірливості від інтегрального індексу артикуляції мови:

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{14} \exp\{-11R\}, & \text{якщо } R < 0,15; \\ 1 - \exp\{-11R/(1+0,7R)\}, & \text{якщо } R \geq 0,15. \end{cases} \quad (10)$$

Після проведення вимірів обчислюється словесна розбірливість мови  $W^*$ :

$$W^* = W + \Delta W,$$

де  $W$  – словесна розбірливість, що розраховується за формулами (5), (6), (7) та (10);  $\Delta W$  – поправка, що враховує похибку, викликану вимірами тільки в п'яти октавних смугах (береться з таблиці) [4].

В Україні згідно діючого НДТЗІ в якості захисного сигналу використовуються виключно найпростіші однокомпонентні захисні завади типу «білий шум» та «рожевий шум». Діапазон робочих частот вихідного сигналу повинен охоплювати не менше п'яти октав з частотами 18 – 5600 Гц [2]. Саме такий діапазон мають представлені вище прилади віброакустичного захисту. Однак слуховий апарат людини здатен реєструвати розмову в більш широкій смузі частот 90 – 11200 Гц, що охоплює сім октавних смуг. Проведені у відповідності до формул (1) – (10) розрахунки показали, що

думка про забезпечення потрібного рівня зниження розбірливості мови в смузі частот 175 – 5600 Гц являється хибною та не дозволяє отримати необхідний рівень розбірливості мови нижче значення 0,45. Таке зменшення смуги зашумлення порівняно зі смугою 90 – 11200 Гц приводить до збільшення сигналу завади більше ніж на 5 дБ [5]. Звідси виникає необхідність обчислення максимального рівня розбірливості мови в окремих семиоктавних смугах. Для вирішення даної задачі вводимо цільову функцію задачі  $F$  (досягнення мінімального рівня приховуваного мовного сигналу дБ  $P_j, j = 1, 7$ ) в окремих октавних смугах. Цільова функція з урахуванням вагового коефіцієнту смуги  $k_i$  (характеризує ймовірність наявності формант мови в даній смузі), має такий вигляд:

$$F = 0,01P_1 + 0,03P_2 + 0,12P_3 + 0,2P_4 + 0,3P_5 + 0,26P_6 + 0,07P_7 \rightarrow \min.$$

Математична модель задачі в загальному вигляді записується так:

$$F = 0,01P_1 + 0,03P_2 + 0,12P_3 + 0,2P_4 + 0,3P_5 + 0,26P_6 + 0,07P_7;$$

$$\begin{cases} P_1 + P_2 - P_3 - P_4 - 2P_5 = 8; \\ P_2 - P_3 - P_4 + 2P_5 + P_6 \leq 12; \\ -P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = 10, \\ P_j \geq 0; j = \overline{1,7}. \end{cases}$$

Процес обчислення задачі симплексним методом представляємо у вигляді табл. 1.

Таблиця 1

Результати обчислення задачі симплексним методом

Базис	$C_{\text{базис}}$	План	0,01	0,003	0,12	0,2	0,3	0,26	0,7	M	-
			$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	-
$P_1$	0,01	8	1	1	-1	-1	-2	0	0	0	-
$P_7$	0,07	10	0	0	-1	1	1	1	1	0	10
$\leftarrow F_8$	M	12	0	1	-1	-1	2	1	0	1	6
$F_j - C_j \geq 0$	0,78	0	-0,02	-0,2	-0,14	-0,25	-0,19	0	-	-	-
	12M	0	M	-M	-M	2M	M	0	0	-	-
$\leftarrow P_1$	0,01	20	1	2	-1,5	-1,5	0	0,5	0	0,5	10
$P_7$	0,07	4	0	-0,5	-0,5	1,5	0	0,5	1	-0,5	-
$P_5$	0,3	6	0	0,5	-0,5	-0,5	1	0,5	0	0,5	12
$F_j - C_j \geq 0$	2,28	0	0,105	-0,315	-0,265	0	-0,065	0	-	-	-
$P_2$	0,03	10	0,5	1	-0,75	-0,75	0	0,25	0	-	-
$P_7$	0,07	9	-0,25	0	0,875	0,875	0	-0,625	1	-	-
$P_5$	0,3	1	-0,25	0	-0,125	-0,125	1	0,375	0	-	-
$F_j - C_j \geq 0$	1,23	-0,0525	0	-0,15625	-0,18625	0	-0,3275	0	-	-	-

У відповідності до останньої симплексної таблиці записуємо оптимальний план задачі:

$$P^* = (0;10;0;0;0;1;0;9); \min F = 1,23.$$

Оптимальний план задачі передбачає необхідність оптимізації по спектру завади, що дозволяє зменшити рівень розбірливості мови до 1,23 дБ.

Крім того, суттєвий вплив на рівень розбірливості мови складає смуга частот 5600 – 11200 Гц, відповідно до сьомої октави. При цьому інтегральний рівень мовних сигналів може досягнути до 9 дБ, який необхідно враховувати при оцінці ефективності захищеності мовної інформації.

Порівняльна характеристика прихованого мовного сигналу Р при врахуванні п'ятиоктавних та оптимізованих по спектру семиоктавних смуг приведені у вигляді відповідної діаграми (рис. 1).

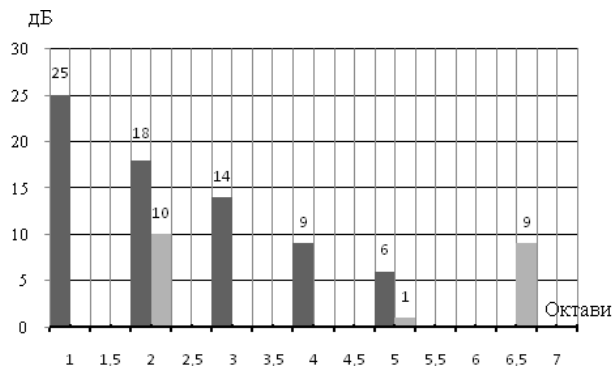


Рис. 1. Порівняльна характеристика

## Висновки

В даній статті розглянуто розрахунково-інструментальний метод, за яким встановлено, що для оцінки ефективності систем віброакустичного маскуванню достатньо провести виміри шуму в п'яти октавних смугах, але під час розрахунків розбірливості мови, необхідно враховувати похибку W, викликану неточністю вимірів. Використовуючи процедуру універсального симплексного методу, розраховано максимальний рівень розбірливості мови в окремих

семиоктавних смугах, відповідно до якого виникає необхідність оптимізації по спектру завади, що дозволяє зменшити рівень розбірливості мови до 1,23 дБ. Крім того, суттєвий вплив на рівень розбірливості мови складає смуга частот 5600 – 11200 Гц, відповідно до сьомої октави. При цьому інтегральний рівень мовних сигналів може досягнути до 9 дБ, який необхідно враховувати при оцінці ефективності захищеності мовної інформації. Таким чином, для ефективного зашумлення розмовного мовлення необхідно використовувати апаратуру, що працює в семиоктавному частотному діапазоні.

## Список літератури

1. Порошин И. Техника активной виброакустической защиты речевой информации в Украине: состояние и перспективы / И. Порошин, М. Прокофьев, В. Дворский // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту в Україні. – 2013. – № 1. – С. 98-106.
2. НДТЗИ Р-001-2000. Засоби активного захисту мовної інформації з акустичними та віброакустичними джерелами випромінювання. Класифікація та загальні технічні вимоги.
3. Маслов О.Н. Защита акустической информации: резервы системного подхода / О.Н. Маслов, В.Ф. Шашенков // Методы и технологии защиты информации в технических каналах связи. – 2013. – №1. – С. 30-35.
4. Хорев А.А. Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности / А.А. Хорев, Ю.К. Макаров // Защита информации. Конфидент. – 2001. – №4. – С. 22-33.
5. Григорьев С.В. Оптимизированная по спектру шумовая помеха / С.В. Григорьев, С.А. Кольчев // Защита информации. Конфидент. – 2003. – №4. – С. 52-57.

Надійшла до редколегії 15.01.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Кобозева, Одеський національний політехнічний університет, Одеса.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ В УКРАИНЕ

Н.Г. Романюков

Защита речевой информации является одной из наиболее важных задач в комплексе мероприятий по обеспечению информационной безопасности объекта или организации. В Украине, согласно действующему НДТЗИ, в качестве защитного сигнала используются исключительно простые однокомпонентные защитные помехи типа «белый шум» и «розовый шум». Диапазон рабочих частот выходного сигнала должен охватывать не менее пяти октав с частотами 18-5600 Гц. Именно такой диапазон имеют все приборы виброакустической защиты, представленные на отечественном рынке. Однако слуховой аппарат человека способен регистрировать разговор в более широкой полосе частот 90-11200 Гц, охватывающий семь октавных полос. Отсюда возникает необходимость рассмотреть расчетно-инструментальный метод, основанный на результатах экспериментальных исследований, проведенных М.Б. Покровским. Используя процедуру универсального симплексного метода, рассчитать максимальный уровень разборчивости речи в отдельных семиоктавных полосах.

**Ключевые слова:** разборчивость речи, виброакустические каналы утечки, активная защиту речевой информации.

## PERFORMANCE EVALUATION OF MODERN TECHNOLOGY VIBROACOUSTIC PROTECTION OF UKRAINE

N.G. Romanykov

Speech information security is one of the most important problems in the complex of measures for information security facility or organization. In Ukraine, according to current NDTZI, as a protective signal used only the simplest one-component protective interference of the "white noise" and "pink noise". Frequency range Output should include at least five octaves of frequencies 18-5600 Hz. This is the range with all devices vibroacoustic protection provided by the domestic market. However, the hearing aid man is able to record the conversation in a wide frequency band 90-11200 Hz, covering seven octave bands. Hence the need to consider the settlement and instrumental method, based on the results of experimental studies conducted by M.B. Pokrovsky. Using the procedure of universal simplex method to calculate the maximum level of intelligibility of speech in some sevenoctave bands.

**Keywords:** speech recognition, vibroacoustic leakage channels, active protection of speech information.