

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Существует множество специальных средств, предназначенных для несанкционированного документирования речевой информации. Это, в первую очередь, акустические и радиоакустические закладные устройства (РАЗУ), портативные и стационарные диктофоны, узконаправленные микрофоны, лазерные акустические локационные системы и т.д. Кроме этого, функцией записи речи обладает широкий набор устройств, начиная от персонального компьютера и заканчивая сотовыми телефонами и бытовой радиотехникой. Безопасность речевой информации становится актуальной при проведении различных мероприятий, где циркулирует информация с ограниченным доступом.

Для защиты речевой информации могут применяться разнообразные методы, основанные на информационном или энергетическом скрывании сигналов (рис. 1).

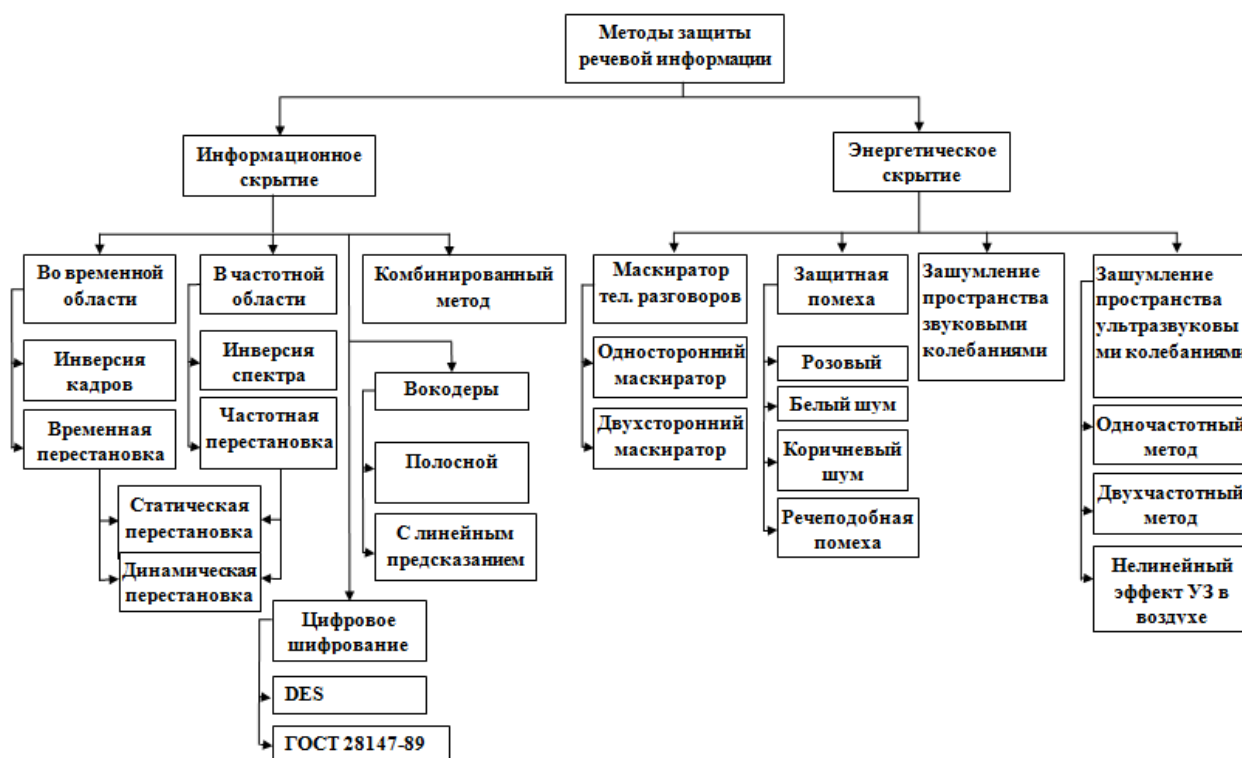


Рис.1

Информационное скрывание сигналов основано на преобразовании речевого сообщения (во временной или частотной областях), при котором при сохранении ширины спектра исходного сигнала смысл передаваемого сообщения при применении обычных средств связи теряется. Восстановить исходное сообщение из преобразованного можно только с помощью специального декодера, который должен иметься у санкционированного получателя.

Энергетическое скрывание достигается за счет приведения отношения сигнал/шум на границе контролируемой зоны до значения, когда содержание передаваемой информации не может быть достоверно принято. Желаемый результат достигается двумя путями: уменьшением величины сигнала или увеличением помехового сигнала (шума) [1, 2].

Когда факт проведения мероприятий по противодействию записи или перехвата речи желательно скрыть – могут быть использованы ультразвуковые (УЗ) методы защиты.

Ультразвуковые методы защиты, как видно на рис. 1, могут быть трех видов: одночастотный УЗ метод, двухчастотный УЗ метод; УЗ метод, основанный на нелинейном взаимодействии ультразвуковых колебаний с воздухом.

Одночастотный и двухчастотный методы защиты рассчитаны на подавление современных диктофонов или РАЗУ с электретными микрофонами, имеющими полосу пропускания до 25 – 27 кГц, то есть воспринимающие ультразвуковые сигналы.

Система одночастотного ультразвукового подавления излучает ультразвуковые колебания (УЗК) большой интенсивности, воздействующие непосредственно на микрофоны диктофона или РАЗУ (обычно частота излучения – немного более 20 кГц). Существует два механизма воздействия на объект подавления:

- перегрузка усилительного тракта диктофона или РАЗУ;
- спровоцированная реакция системы автоматической регулировки уровня записи (АРУЗ).

Ультразвуковое воздействие большой интенсивности приводит к перегрузке микрофонного усилителя, стоящего сразу после акустического приемника. Происходит смещение рабочей точки нелинейного элемента усилителя, что приводит к возникновению значительных искажений записываемых речевых сигналов, часто до степени, не поддающейся пониманию.

Наличие АРУЗ в диктофоне или РАЗУ облегчает задачу противодействия несанкционированной записи или передачи речи вследствие реакции АРУЗ на УЗ сигнал большой интенсивности, приводящей к значительному уменьшению коэффициента усиления микрофонного усилителя до значения, недостаточного для разборчивого восприятия речевого сигнала

Более эффективным является двухчастотный метод, использующий свойство микрофонного усилителя как нелинейного элемента. Система двухчастотного ультразвукового подавления излучает два мощных ультразвуковых колебания с частотами, отличающимися друг от друга на 0,3 – 4 кГц. Эти два сигнала сбиваются на нелинейном элементе микрофонного усилителя, в результате чего получается сигнал с комбинационной частотой (разностная), лежащий в диапазоне 0,3 – 4 кГц. Этот сигнал разностной частоты и выступает в виде помехового сигнала.

Достоинством рассмотренных двух систем ультразвукового подавления – одночастотной и двухчастотной – является скрытность противодействия. Однако эффективность их резко снижается, если заранее предпринять меры противодействия подавлению, как это делается в спецсредствах, а именно:

- микрофон диктофона или РАЗУ прикрыть фильтром из специального материала, ограничивающего полосу пропускания пределами звукового диапазона;
- в тракт микрофонного усилителя установить фильтр нижних частот с граничной частотой ниже 3,4 0 – 4 кГц;
- использовать в диктофонах микрофоны с полосой пропускания до 4 – 5 кГц.

Как альтернативу изложенным методам можно использовать УЗ колебание большой мощности, при распространении которого в воздухе возникают нелинейные эффекты, позволяющие создать акустические помехи речевому сигналу. При малой амплитуде УЗ колебаний волны затухают в воздухе, и проявление нелинейных эффектов будет отсутствовать. Нелинейный эффект в акустическом поле можно рассматривать как результат изменения свойств среды, вызванного ультразвуковой волной и влияющего на её распространение (самовоздействие). Нелинейный эффект возникает в случае, когда скорость движения частиц в волне гораздо выше скорости самой волны. К числу нелинейных эффектов в акустическом поле относятся: изменение формы волны при её распространении и возникновение комбинационных тонов и др. Нелинейный эффект будет проявляться только в случае выполнения условия $M_a \gg 1$:

$$M_a = v/c = p'/p, \quad (1)$$

где M_a – акустическое число Маха; v – амплитуда колебательной скорости частиц; c –

скорость звука; ρ' – избыточная плотность, обусловленная волной; ρ – равновесное значение плотности.

Устройство защиты речевой информации, основанное на возникновении нелинейного эффекта в воздухе при распространении УЗК, должно содержать генератор ультразвуковых колебаний, модулируемых помехой звукового диапазона и узконаправленный излучатель в виде плоской решетки излучателей (рис. 2). Ультразвуковая установка излучает ультразвук, промодулированный помеховым сигналом звукового диапазона, в сторону предположительного места несанкционированного съема речевой информации. Человек не слышит ультразвук, но в связи с нелинейными эффектами, возникающими в воздухе при распространении УЗ большой мощности, слышит огибающую УЗ колебания. Следовательно, на диктофон или на РАЗУ на фоне речевого сигнала будет записан модулирующий помеховый сигнал.

Для проведения эксперимента в подтверждение изложенного была использована ультразвуковая установка, состоящая из решетки излучателей 6х6. Диаметр одного излучателя – 9 мм. Расстояние между всеми излучателями эквидистантно и составляет 11.2 мм.



Рис. 2. Схема измерения уровня сигнала системы УЗИ

Теоретическая диаграмма направленности (ДН) для линейки эквидистантно расположенных излучателей рассчитывается по формуле

$$R(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{n \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \cdot \sin(\theta)\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda}\right)} \quad (2)$$

где n – количество излучателей ($n = 6$ в горизонтальной и вертикальной плоскостях), d – расстояние между центрами излучателей $d = 11.2 \text{ мм}$, λ – длина волны.

Анализируя теоретическую ДН, можно сделать вывод, что имеется также излучение боковых лепестков, расположенных под 45° относительно главного лепестка. Наличие боковых лепестков приводит к нежелательному эффекту облучения не только области пространства, подлежащей защите, но и появлению мешающих сигналов, которые после отражения от стен приводят к расширению ДН.

ДН в вертикальной и горизонтальной плоскостях будет одинаковой из-за симметричности расположения излучателей в плоской решетке и имеет вид, изображенный на рис. 3. На рис. 4 изображены экспериментальные измеренные ДН: $a - 5 \text{ м}$; $b - 20 \text{ м}$ до УЗ установки.

На рис.5 построены изолинии равных интенсивностей в координатах $R \times L$ при проведении эксперимента в помещении ограниченного объема. График строился в трех сечениях, равных 55, 60 и 65 дБ. Таким образом, при максимально допустимой мощности излучения ультразвуковой установки граница охраняемой зоны составляет 9 м при уровне помехового сигнала, равного 60 дБ в осевом направлении.

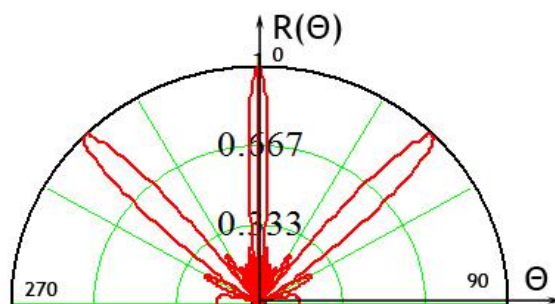


Рис. 3

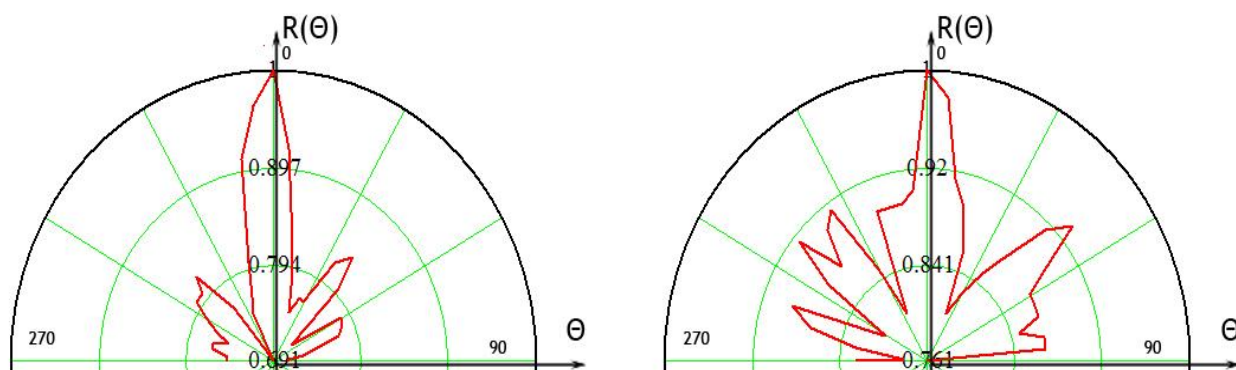


Рис. 4

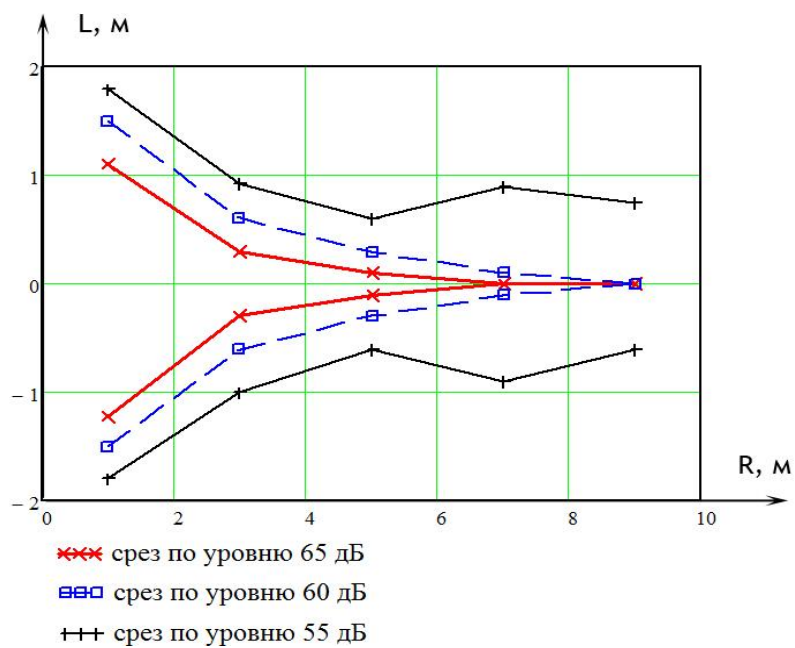


Рис. 5

Боковые лепестки желательно устранить или свести к минимуму. Для того чтобы отсутствовали боковые лепестки, необходимо выполнить условие

$$d \leq \frac{\lambda}{2}, \quad (3)$$

где d – расстояние между излучателями; λ – длина волны.

Преобразовывая (3), можно получить

$$d \leq \frac{c}{2 \cdot f_{\max}}. \quad (4)$$

Из формулы (4) находим, чему должна равняться максимальная частота излучения при сохранении расстояния между излучателями равным $d = 11,2$ мм.

$$f_{\max} \leq \frac{c}{2 \cdot d}. \quad (5)$$

Подставляя значения в (5), получаем

$$f_{\max} \leq \frac{c}{2 \cdot d} \leq \frac{340}{2 \cdot 11,2 \cdot 10^{-3}} = 15,1 \text{ кГц}$$

Рассчитанная частота 15,1 кГц почти в три раза меньше частоты УЗ установки. Также видно, что 15,1 кГц находится в диапазоне слышимых частот.

Найдем требуемое минимальное расстояние между излучателями, если частота излучения будет равной 43 кГц. По формуле (3) находим

$$d_{\min} \leq \frac{\lambda}{2} \leq \frac{7,91}{2} \leq 3,955 \text{ мм.}$$

То есть физически невозможно изготовить УЗ систему излучателей с шагом $d_{\min} = 3,955$ мм, поэтому необходимо оптимизировать УЗ установку, сохраняя частоту излучения 43 кГц при диаметре единичного УЗ излучателя – 9 мм.

Уменьшить уровень боковых лепестков в линейной группе излучателей возможно следующими путями [3]:

- проведением фазировки излучателей;
- эквидистантным расположением излучателей (при соблюдении минимального расстояния между ними $d_{\min} = 9$ мм).

Второй метод уменьшения боковых лепестков не требует введения дополнительных элементов в схему устройства. Расстояния неэквидистантного расположения УЗ излучателей выбираются таким образом, чтобы получить максимальный коэффициент направленности для системы излучателей:

$$\max_{\text{var } d_i} \left[\Omega \leq \frac{E_{oc}^2}{E_{\text{бок}}^2} \right] \quad (6)$$

где E_{oc}^2 – квадрат уровня осевого излучения УЗ установки (0 градусов); $E_{\text{бок}}^2$ – средний квадрат уровня излучения УЗ установки во всех направлениях, кроме осевого.

Интенсивность линейной группы излучателей можно рассчитать по формуле

$$E = \sum_{i=1}^n U_n e^{jn\Delta\varphi_i} \quad (7)$$

где U_n – амплитуда возбуждения n -го излучателя; n – количество излучателей; $\Delta\varphi_i = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot \Delta r_i$ – сдвиг фазы n -го излучателя, где $\Delta r_i = d_i \cdot \sin(\theta)$, d_i – расстояние между близлежащими излучателями; θ – радиальный угол.

В результате расчетов получены следующие значения: расстояния между излучателями для шести излучателей составляют $d_2 = d_6 = 13,1$ мм, $d_3 = d_5 = 9$ мм, $d_4 = 10,1$ мм при максимально возможном коэффициенте направленности $\Omega_6 = 9,26$.

Выводы

1. Устройство защиты речевой информации, основанное на использовании нелинейного эффекта взаимодействия УЗ колебаний с воздухом, может быть использовано для создания узкой защищенной области в месте наиболее вероятного расположения устройств несанкционированного документирования речевой информации.

2. Для эффективного использования предлагаемого метода зашумления ограниченного пространства рекомендуется применять его на открытых площадках и в помещениях со звукопоглощающим покрытием ограждающих поверхностей.

3. Использование ультразвуковых колебаний способствует уменьшению размеров излучателя при формировании узконаправленной диаграммы направленности.

4. Проведен выбор конфигурации ультразвуковых излучателей для обеспечения максимально возможного коэффициента направленности за счет неэквидистантного расположения ультразвуковых излучателей.

5. Проведены экспериментальные исследования и установлена защищенная зона, длина которой составляет 9 м при ширине до 3 м при максимально допустимой мощности излучения единичного типового УЗ излучателя.

Список литературы: 1. *Торокин, А. А.* Инженерно-техническая защита информации: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям в обл. информ. безопасности / А. А. Торокин. – М. : Гелиос АРВ, 2005. – 960 с. 2. *Хорев, А.А.* Защита информации от утечки по техническим каналам. Ч. 1. Технические каналы утечки информации : учеб. пособие / А.А. Хорев. – М. : Гостехкомиссия России, 1998. – 320 с. 3. *Шифрин, Я.С.* Антенны. – М. : Изд. Академии, 1976. – 408с.;

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 05.04.2012