

## ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В КАНАЛЕ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

**В.К. Железняк, Е.Р. Адамовский**

*Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк, Беларусь,  
v.zheleznyak@psu.by, e.adamovsky@psu.by*

Предложен метод оценки защищенности канала утечки информации на основе взаимно-корреляционного анализа огибающей измерительного сигнала в речевом диапазоне частот. Алгоритм включает генерацию измерительного сигнала и выделение его огибающей, излучение и измерение в канале утечки, выделение огибающей результирующего сигнала, вычисление коэффициента корреляции между исходной и полученной огибающими, сравнение с пороговым значением. Выполнено имитационное моделирование метода программной среде MatLab. Полученные результаты подтверждают большую эффективность использования огибающей по сравнению с исходным сигналом, а также демонстрируют преимущество речевых сигналов перед гармоническими сигналами в качестве измерительных для оценки защищенности канала утечки информации.

**Ключевые слова:** канал утечки информации; огибающая речевого сигнала; взаимная корреляция; техническая защита информации.

## OPTIMIZATION METHOD FOR ESTIMATION OF SPEECH SIGNAL SECURITY IN THE INFORMATION LEAKAGE CHANNEL

**V.K. Zheleznyak, Y.R. Adamovskiy**

*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, st. Blokhin, 29, 211440,  
Novopolotsk, Republic of Belarus  
Corresponding author: e.adamovsky@psu.by*

A method of information leakage channel security estimating based on the test speech signal envelope cross-correlation analysis is proposed and its includes: test signal generating and extracting its envelope, emitting and measuring in a leakage channel, extracting the resulting signal envelope, calculating the correlation coefficient between the original and received envelopes, and comparing with a threshold value. Simulation modeling of the method in the MatLab software environment has been performed. The obtained results confirm the greater efficiency of using the envelope compared to the original signal, and demonstrate the speech signals advantage over harmonic signals as test signals for assessing the information leakage channel security.

**Keywords:** information leakage channel; speech signal envelope; cross-correlation; technical information security.

## Введение

Актуальность разработки методов оценки защищенности речевых сигналов (РС) в каналах утечки информации (КУИ) заключается в отсутствии единой модели восприятия речи [1, 2].

Питание усилителей, в том числе – аудиосистем, осуществляется через сеть переменного тока. Изменение потребления тока нагрузки приводит к нестабильности по току на входе стабилизатора [3]. Таким путем, РС из питаемой микрофонной системы способен проникать в электромагнитный КУИ в составе излучения усилителя. Другим способом образования КУИ РС является цифро-аналоговое преобразование (ЦАП), порождающее побочные излучения, которые содержат информацию об исходном сигнале [4].

Известно, что РС характеризуется спектром сложной формы в широком диапазоне от 90 до 10-13 кГц [5]. Во временной области для РС может быть вычислена огибающая в узкой и заранее известной полосе низких частот, которая отражает скорость смены фонем речи.

Подобная предсказуемость открывает возможности для повышения точности оценки защищенности РС. Поэтому в данной работе предлагается метод оценки защищенности речевой информации КУИ на основе анализа огибающей измерительного речевого сигнала в точках излучения и наблюдения.

## 1. Методология исследования

Рассмотрим аналитический сигнал  $s(t)$ , реальная  $s_{re}(t)$  и мнимая  $s_{im}(t)$  части которого связаны преобразованием Гильберта [6]. Практическая значимость соотношения (1) заключается в возможности выделения из его частей мгновенной амплитуды  $u(t)$  (2), что применимо и к реальным сигналам.

$$s_{im}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s_{re}(\tau) / \pi(t - \tau) d\tau \quad (1)$$

$$u(t) = \sqrt{s_{re}^2(t) + s_{im}^2(t)} \quad (2)$$

Значения мгновенной амплитуды соответствуют понятию огибающей сигнала, которой оперируют при обработке амплитудно-модулированных (АМ) сигналов.

При оценке защищенности РС в КУИ требуется установить взаимосвязь между сигналами в точке излучения и точке наблюдения – в

канале утечки. В качестве меры их схожести предлагается значение коэффициента корреляции Пирсона, который вычисляется согласно формуле (3), и обозначаемого как  $R$  [7]. Коэффициент отражает, насколько изменение амплитуды одного сигнала влияет на изменение амплитуды другого сигнала.

$$R = M[(s(t) - M(s(t))) \times (u(t) - M(u(t)))] / (\sigma_{s(t)} \times \sigma_{u(t)}) \quad (3)$$

где  $M$  – математическое ожидание;  
 $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение.

Предлагается метод оценки защищенности РС КУИ на основе взаимно-корреляционного анализа, заключающийся в генерации и излучении измерительного РС, огибающая которого сравнивается с огибающей в точке наблюдения. Оптимизация метода заключается в использовании сигнала, который был бы наиболее устойчив к шумам в КУИ за счет структурных свойств. Алгоритм (рисунок 1) включает шаги:

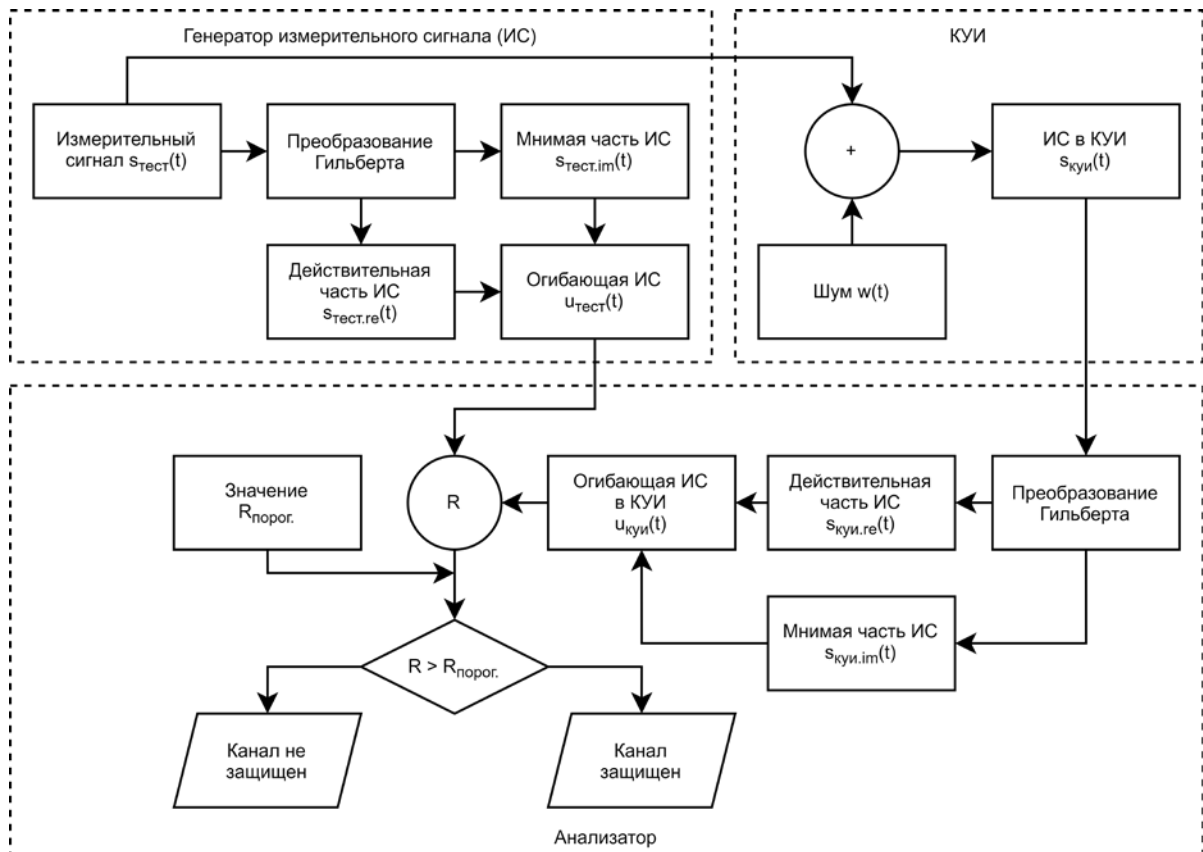


Рисунок 1 – Алгоритм имитационной модели метода оценки

1. Генерация измерительного сигнала  $s_{\text{тест}}(t)$  в речевом диапазоне частот в аналитической форме согласно формуле (1).

2. Выделение огибающей  $u_{\text{тест}}(t)$  из измерительного сигнала  $s_{\text{тест}}(t)$  согласно формуле (2).

3. Излучение измерительного сигнала  $s_{\text{тест}}(t)$  в КУИ и его измерение в точке наблюдения как  $s_{\text{КУИ}}(t)$ , который в простейшей модели КУИ может быть представлен как аддитивная смесь с шумом в КУИ  $\omega(t)$ .

4. Выделение из  $s_{\text{КУИ}}(t)$  огибающей  $u_{\text{КУИ}}(t)$  аналогично п. 2.

5. Обработка  $u_{\text{тест}}(t)$  и  $u_{\text{КУИ}}(t)$  взаимно-корреляционным способом, получение значения коэффициента корреляции  $R$  согласно формуле (3).

6. Сравнение полученной величины  $R$  с нормативным пороговым значением  $R_{\text{порог}}$ .

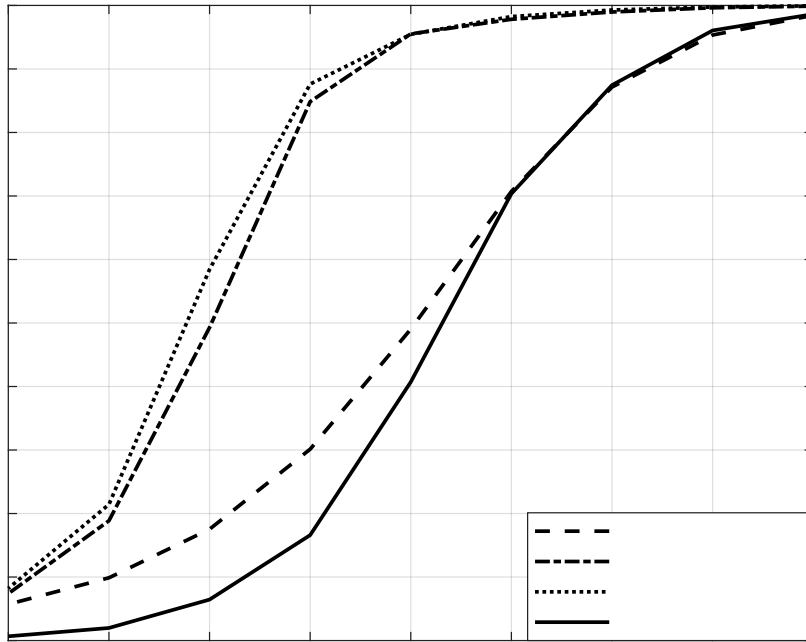
Следует отметить, что результаты взаимно-корреляционного анализа могут быть использованы только при условии синхронизации обоих сигналов относительно друг друга.

## 2. Результаты и их обсуждение

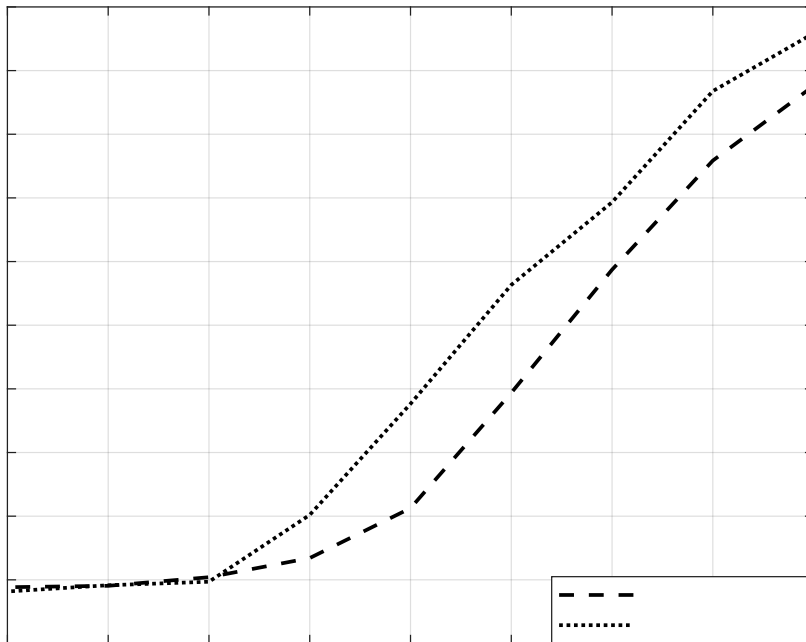
Имитационное моделирование метода реализовано в программной среде MatLab, на рисунке 2 показаны его результаты: значения коэффициентов  $R$  и модуляции  $m$  измерительных сигналов как среднее арифметическое 10 измерений согласно представленному алгоритму.

В качестве измерительных сигналов был использован РС  $s_{\text{речь}}(t)$  – озвученная на русском языке фраза-панграмма; выделенная огибающая  $u_{\text{речь}}(t)$ ; гармонический АМ-сигнал  $s_{\text{гарм.АМ}}(t)$  при  $m = 1$ ; выделенная огибающая  $u_{\text{гарм.АМ}}(t)$ . Исходные РС подвергались зашумлению с различными отношениями сигнал/шум (ОСШ). В результате были получены сигналы  $s_{\text{речь.КУИ}}(t)$ ,  $u_{\text{речь.КУИ}}(t)$ ,  $s_{\text{гарм.АМ.КУИ}}(t)$  и  $u_{\text{гарм.АМ.КУИ}}(t)$  соответственно. Огибающие ограничивались по частоте до 30 Гц. Измерено соотношение исходного  $m$  и полученного  $m_{30\text{Гц.КУИ}}$  коэффициента модуляции. Дополнительно для сигналов  $u_{\text{речь}}(t)$  и  $u_{\text{речь.КУИ}}(t)$  был реализован вариант без ограничения по частоте для исследования влияния высокочастотной (ВЧ) составляющей на результаты моделирования, значение  $m_{\text{КУИ}}$ .

Из рисунка 2а следует, что оценка корреляционных свойств сигналов во всей доступной частотной полосе дает низкие значения, поскольку влияние широкополосного шума снижает величину схожести. Это подтверждается быстрым спадом не ограниченных по частоте кривых. Рисунок 2б демонстрирует характер падения коэффициента модуляции  $m_{30\text{Гц.КУИ}}$ , вычисленного по огибающим сигналов.



а)



б)

Рисунок 2 – Результаты имитационного моделирования метода при различных уровнях шума, сравнение полученных значений: а) коэффициентов взаимной корреляции  $R$ ; б) коэффициентов модуляции  $m$

Показано, что модуляция речевого сигнала более устойчива к шуму, чем гармонического модулированного сигнала.

### **Заключение**

Представлен метод оценки защищенности канала утечки информации на основе взаимно-корреляционного анализа огибающей измерительного сигнала в речевом диапазоне частот и результаты имитационного моделирования метода. Произведен сравнительный анализ результатов для огибающей речевого сигнала, исходного речевого сигнала и гармонического амплитудно-модулированного сигнала. Показаны преимущества использования огибающей речевого сигнала для оценки защищенности канала утечки информации, поскольку в этом случае достигаются большие значения коэффициента корреляции в шумах высокого уровня, следовательно использование огибающей РС оптимально.

### **Библиографические ссылки**

1. Анохин В.В., Герасименко Е.А., Кондратьев А.В. Рассмотрение критериев защищённости речи на основе словесной и смысловой разборчивости // Специальная техника. 2016. № 6. С. 22–28.
2. Железняк В. К., Макаров Ю. К., Хорев А. А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. 2000. № 4. С. 39.
3. Костиков В.Г., Парфенов Е.М., Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование // Горячая линия–Телеком. 2001. С. 344.
4. Адамовский Е.Р. Излучение цифро-аналогового преобразователя при обработке тестовых сигналов // Современные средства связи: материалы XXVI Междунар. науч.-техн. конф. Минск: Белорусская государственная академия связи. 2021. С. 124–126.
5. Трушин В.А., Иванов А.В., Рева И.Л. О корректировке методики оценки защищённости речевой информации от утечки по техническим каналам // Специальная техника. 2016. № 6. С. 22–30.
6. Бутырский Е.Ю. Преобразование гильберта и его обобщение // Научное приборостроение. 2014. № 24(4). С. 30–37.
7. Железняк В. К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учебное пособие. М.: ГУАП, 2006. 187 с.