

УДК 004.056:534.61

## ОЦЕНКА НОРМАТИВНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА СЛОЖНЫМ СИГНАЛОМ С БОЛЬШОЙ БАЗОЙ

*д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, И.Б. БУРАЧЕНОК*  
(Полоцкий государственный университет)

*Предложен способ оценки нормативного показателя защищенности речевого сигнала по критерию разборчивости речи в  $k$ -полосах равной разборчивости речевого сигнала в шумах высокого уровня сложным измерительным сигналом с большой базой. Величина нормативного показателя защищенности речевого сигнала определяется как отношение показателя защищенности речевого сигнала в виде численного значения отношения сигнал/шум измерительного сложного сигнала с большой базой на выходе канала утечки речевой информации к нормативному показателю численного значения отношения сигнал/шум измерительного гармонического сигнала при условии, что отношения сигнал/шум исходных измерительных сигналов равны. Показано преимущество сложного измерительного сигнала с большой базой перед гармоническим при оценке защищенности каналов утечки речевой информации.*

**Введение.** Оценка защищенности в каналах утечки речевой информации по установленным нормативным требованиям регламентирована в Республике Беларусь СТБ 34.101.29-2011. Защищенность каналов утечки речевой информации оценивают в реальном масштабе времени и с высокой точностью и высокой чувствительностью по численным значениям отношения сигнал/шум (энергетический показатель) или по критерию разборчивости речи (информационный показатель).

Для оценки защищенности в каналах утечки речевой информации широко применяется в качестве измерительного гармонический сигнал, обоснованный корреляционной теорией разборчивости речи [1]. Метод гармонического измерительного сигнала обладает рядом преимуществ по сравнению с другими и обусловлен рядом положительных свойств. Методическая погрешность оценки защищенности речевого сигнала измерительным гармоническим сигналом на одной частоте в каждой из  $k$ -полос равной разборчивости не в полной мере учитывает неравномерности АЧХ преграды. Для снижения методической погрешности при оценке защищенности речевого сигнала гармоническим измерительным сигналом необходимо обосновать применение для оценки сложного измерительного сигнала с большой базой.

**Целью работы** является установление математической зависимости между нормированным показателем защищенности гармоническим измерительным сигналом и показателем защищенности сложным измерительным сигналом с большой базой [2, 3] для обоснования преимуществ последнего в качестве измерительного.

Нормированный показатель защищенности речевого сигнала, установленный для метода гармонического сигнала [1], подтверждает возможность однозначно оценивать защищенность речевого сигнала и установить обоснованный нормированный показатель защищенности речевого сигнала методом сложного измерительного сигнала с большой базой.

Оценку нормативного показателя защищенности речевого сигнала целесообразно осуществить по критерию разборчивости речи в  $k$ -полосах равной разборчивости в шумах высокого уровня. Для оценки формируем  $k$  измерительных сигналов с большой базой в  $k$ -полосах равной разборчивости. Исходными данными измерительных сигналов являются одинаковые значения длительности  $T_c$  и девиации частоты  $\pm \Delta f_k$ , перекрывающей каждую из  $k$ -полос равной разборчивости ( $k = \overline{1, n}$ ,  $k$  – порядковый номер полосы равной разборчивости,  $n$  – количество полос равной разборчивости) [4].

Энергетический спектр  $W$  сложного сигнала с большой базой представим выражением [5]:

$$W = \frac{\pi U_0^2}{2\mu}, \quad (1)$$

где  $U_0$  – амплитуда огибающей сигнала;  $\mu = \Delta\omega/T_c$  – скорость нарастания частоты сложного сигнала с большой базой.

Выражение (1) представим  $W = \frac{\pi U_0^2}{2\mu} = \frac{\pi U_0^2 T_c}{2\pi \Delta f} = \frac{U_0^2 T_c^2}{2\Delta f T_c} = \frac{U_0^2 T_c^2}{B}$ , где  $B$  – база сложного сигнала,

определяемая произведением девиации частоты в  $k$ -полосах равной разборчивости на длительность сигнала  $B = 2\Delta f T_c$ , имеющая различные значения для каждой  $k$ -й полосы равной разборчивости [6].

Для детерминированного сигнала [7] отношение сигнал/шум в диапазоне  $0 \leq t \leq T_c$  определяют как  $q_{\text{вых}}^2 = \frac{2E}{N_0}$ , где  $N_0$  – спектральная плотность мощности шума [8]. Отношение сигнал/шум для сложного сигнала с большой базой можно записать:

$$q_{\text{вых\_сл}}^2 = \frac{2U_0^2 T_c^2}{BN_0 R} 2\Delta f = \frac{2U_0^2 T_c^2 2\Delta f}{T_c 2\Delta f N_0 R} = \frac{2U_0^2 B}{2\Delta f N_0 R} = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} 2B, \quad (2)$$

где  $P_{\text{ш}}$  – мощность шума в заданной полосе равной разборчивости  $2\Delta f$ , равная  $P_{\text{ш}} = N_0 2\Delta f$ , а  $P_c$  – мощность сигнала, равная  $P_c = \frac{U_0^2}{R}$ , где  $R = 1 \text{ Ом}$ .

Таким образом, отношение сигнал/шум на выходе приемника  $q_{\text{вых\_сл}}^2$  связано с отношением сигнал/шум на входе приемника  $\rho_{\text{вх}}^2 = P_c / P_{\text{ш}}$ :

$$q_{\text{вых\_сл}}^2 = 2B\rho_{\text{вх\_сл}}^2. \quad (3)$$

Отношение сигнал/шум на выходе  $q_{\text{вых\_сл}}^2$  определяет рабочие характеристики приема сложных сигналов с большой базой, а отношение сигнал/шум на входе  $\rho_{\text{вх\_сл}}^2$  – энергетику сигнала и шума. Величина  $q_{\text{вых\_сл}}^2$  может быть получена, даже если  $\rho_{\text{вх\_сл}}^2 \ll 1$ . Для этого достаточно выбрать сложные сигналы с величиной базы  $B$ , удовлетворяющей выражению (3) [2]. Как видно из отношения (2), прием сложных сигналов с большой базой сопровождается подавлением шума на выходе.

На рисунке 1 представлена зависимость базы сложного измерительного сигнала от отношения сигнал/шум на входе  $\rho_{\text{вх}}^2$  дБ при значениях  $h_0^2$ , равных  $-20, 10, 20$  и  $30$  дБ, построенных согласно того, что в широкополосных системах связи прием информации характеризуется отношением сигнал/шум  $h_0^2 = \frac{q_{\text{вых}}^2}{2}$  [2], т.е.  $h_0^2 = B\rho_{\text{вх}}^2$ .

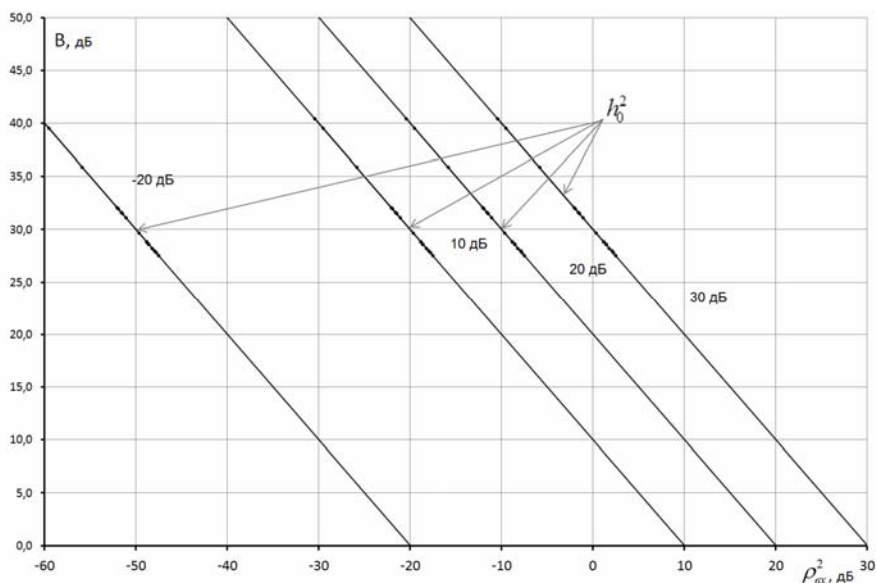
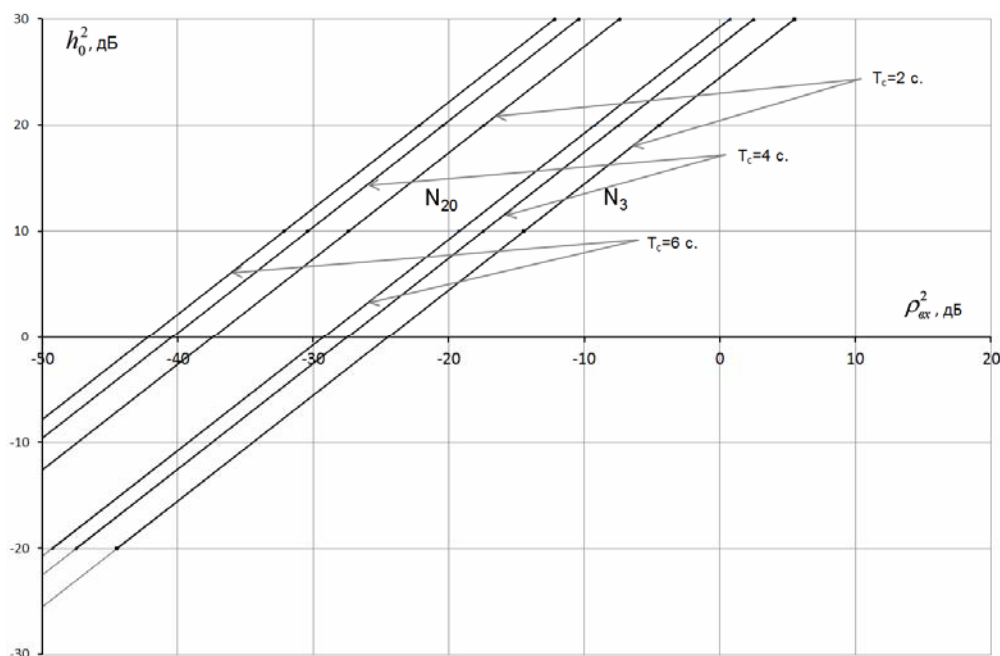


Рисунок 1 – Зависимость базы  $B$  сложного измерительного сигнала от отношения сигнал/шум на выходе приемника  $\rho_{\text{вх}}^2$

Например, если база равна  $27,5$  дБ (т.е.  $B = 560$ , данные значения базы для сложного сигнала в третьей полосе  $N_3$  равной разборчивости (наиболее критичная полоса) при длительности сигнала  $T_c = 4$  с) и необходимо иметь на выходе приемника  $h_0^2 = 20$  дБ, то на вход приемника подаем не менее чем  $\rho_{\text{вх}}^2 = -7,5$  дБ. Таким образом, чем больше база сложного измерительного сигнала, тем меньше отношение сигнал/шум на входе приемника можно допустить при заданной надежности обнаружения.

Для примера, когда каждая полоса равной разборчивости имеет постоянное значение девиации частоты  $\pm\Delta f_k$ , при увеличении длительности  $T_c$  исходного сигнала можно увеличивать значение размера базы и тем самым улучшать отношение сигнал/шум на выходе приемника. Зависимость заданного отношения сигнал/шум сложного измерительного сигнала с большой базой на выходе приемника от отношения сигнал/шум на входе приемника представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Зависимость отношения сигнал/шум сложного измерительного сигнала с большой базой на выходе приемника  $h_0^2$  от отношения сигнал/шум на входе приемника  $\rho_{ex}^2$  при  $T_c$ , равном 2, 4, 6 с, в  $N_3$  и  $N_{20}$  полосах равной разборчивости**

Однако увеличение длительности сложных измерительных сигналов обуславливает увеличение времени оценки защищенности каналов утечки речевой информации.

База гармонического сигнала равна единице  $B=1$  [2]. При использовании его для оценки защищенности речевого сигнала отношение сигнал/шум на выходе канала утечки речевой информации можно представить в виде  $q_{вых\_гар}^2 = \frac{2E}{N_0} = \frac{P_c T_c}{N_0} \frac{2\Delta f}{2\Delta f} = \frac{P_c}{N_0} \frac{B}{2\Delta f} = \frac{P_c}{N_0}$  или

$$q_{вых\_гар}^2 = \frac{2E}{N_0} = \frac{P_c}{P_{ш}}. \quad (4)$$

Нормативный показатель, устанавливающий математическую зависимость между нормированным показателем защищенности гармоническим измерительным сигналом и показателем защищенности сложным измерительным сигналом с большой базой, определяют как отношение сигнал/шум на выходе канала утечки речевой информации, оцененное при помощи сложного сигнала с большой базой  $q_{вых\_сл}^2$ , к нормативному показателю  $q_{вых\_гар}^2$  защищенности речевого сигнала в виде численного значения отношения сигнал/шум гармонического измерительного сигнала [9]:

$$\delta_{сл} = \frac{q_{вых\_сл}^2}{q_{вых\_гар}^2}. \quad (5)$$

Если нормативный показатель защищенности речевого сигнала гармоническим измерительным сигналом определяется как  $q_{вых\_гар}^2 = \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{норм}$ , то при равенстве отношений сигнал/шум выход-

ных измерительных сигналов гармонического и сложного с большой базой  $\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{сл} = \left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{норм}$  имеем следующее отношение:

$$\delta_{сл} = \frac{q_{вых\_сл}^2}{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{норм}} = \frac{B\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{сл}}{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{норм}} = B. \tag{6}$$

С помощью математической модели (6), устанавливающей однозначную связь метода оценки разборчивости речи сложным измерительным сигналом с большой базой с методом гармонического измерительного сигнала оценки разборчивости речи, показано однозначное преимущество первого метода перед вторым, определяемое величиной базы первого сигнала, равной произведению времени существования сигнала на удвоенную девиацию частоты в пределах полосы равной разборчивости.

Из выражения (6) следует, что увеличение (выигрыш) отношения сигнал/шум на выходе канала утечки речевой информации при использовании в качестве измерительного сложного сигнала с большой базой по сравнению с отношением сигнал/шум на его выходе при использовании в качестве измерительного гармонического сигнала зависит от размера базы сложного сигнала.

Обозначим полосы равной разборчивости  $N_k$ , где  $k = 1, \dots, 20$  – порядковый номер полосы, и приведем теоретически обоснованные расчетные значения порогов обнаружения сложных измерительных сигналов с большой базой при необходимости получения на выходе приемника заданного отношения сигнал/шум 0 и 5 дБ (таблица).

Таблица – Расчетное значение порога обнаружения сложных измерительных сигналов с большой базой при необходимости получения на выходе приемника заданного отношения сигнал/шум 0 и 5 дБ

$N_k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$B$ , дБ	31	28	27	28	28	27	29	29	29	29
$\rho_{ex}^2$ при $h_0^2=0$ , дБ	-31	-28	-27	-28	-28	-29	-29	-29	-29	-29
$\rho_{ex}^2$ при $h_0^2=5$ , дБ	-26	-23	-22	-23	-23	-24	-24	-24	-24	-24

Продолжение таблицы

$N_k$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$B$ , дБ	29	29	30	31	32	32	32	36	40	40
$\rho_{ex}^2$ при $h_0^2=0$ , дБ	-29	-29	-30	-31	-32	-32	-32	-36	-40	-40
$\rho_{ex}^2$ при $h_0^2=5$ , дБ	-24	-24	-25	-26	-27	-27	-27	-31	-35	-35

На рисунке 3 приведен график нормированных значений коэффициента разборчивости речи  $K_p$  на выходе канала утечки речевой информации для измерительных сигналов гармонического и сложного с большой базой.

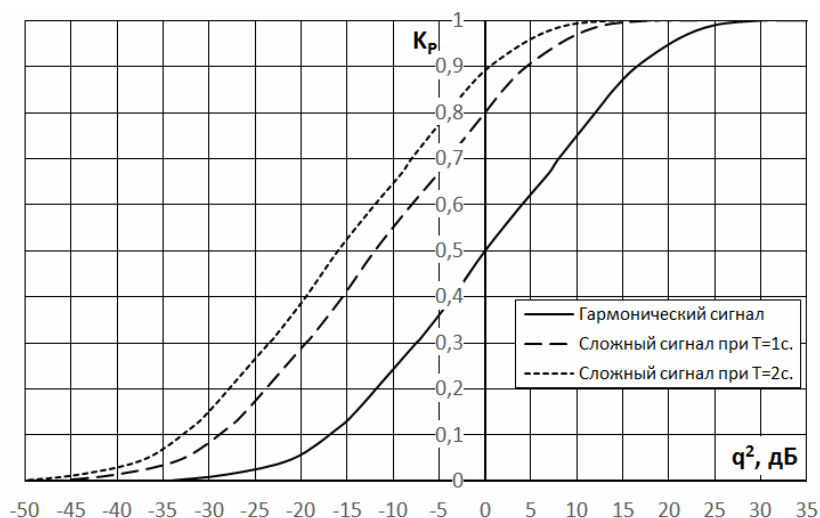


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента разборчивости речи  $K_p$  от отношения сигнал/шум на выходе канала утечки речевой информации для измерительных сигналов гармонического и сложного с большой базой

Из графика следует, что чем больше база измерительного сложного сигнала, тем выше возможность его обнаружения на фоне помех относительно измерительного гармонического сигнала. Таким образом, преимуществом сложных измерительных сигналов с большой базой является то, что с их помощью возможно получить большие значения отношения сигнал/шум на выходе канала утечки речевой информации.

**Заключение.** Установленная математическая зависимость критерия оценки защищенности речевого сигнала сложным измерительным сигналом с большой базой с критерием оценки защищенности речевого сигнала гармоническим измерительным сигналом позволила обосновать преимущество сложного измерительного сигнала с большой базой для оценки защищенности речевого сигнала. Расчетным путем показана возможность улучшения отношения сигнал/шум на выходе канала утечки речевой информации в  $k$ -полосах равной разборчивости на 12 дБ при длительности сигналов  $T_c = 1$  с и на 16 дБ при  $T_c = 4$  с. Как элемент базы девиация частоты ограничена шириной каждой  $k$ -полосы равной разборчивости, и поэтому при постановке задачи получения результатов в реальном режиме времени она является ограничивающим фактором.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Железняк, В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам : учеб. пособие / В.К. Железняк. – СПб. : ГУАП, 2006. – 188 с.
2. Варакин, Л.Е. Теория сложных сигналов / Л.Е. Варакин. – М. : Советское радио, 1970. – 376 с.
3. Чердынцев, В.А. Проектирование радиотехнических систем со сложными сигналами : учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов / В.А. Чердынцев. – Минск : Высш. шк., 1979. – 192 с.
4. Бураченко, И.Б. Представление параметров широкополосного линейно-частотно-модулированного сигнала для оценки разборчивости речи в технических каналах утечки информации / В.К. Железняк, К.Я. Раханов, И.Б. Бураченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2014. – № 12. – С. 2–12.
5. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. для вузов по спец. «Радиотехника». – 2-е изд., перераб. и доп. / С.И. Баскаков. – М. : Высш. шк., 1988. – 448 с.
6. Бураченко, И.Б. Корреляционная частотно-временная обработка широкополосных ЛЧМ-сигналов для оценки разборчивости речи в каналах утечки информации. / В.К. Железняк, И.Б. Бураченко // Интеллектуальные системы на транспорте : материалы V междунар. науч.-практ. конф. «ИнтеллектТранс-2015», СПб., 2-3 апр. 2015 г. / ПГУПС. – СПб., 2015. – С. 286–292.
7. Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения : ГОСТ 16465-70. – введ. 01.07.1971 (с изм. № 1, 01.07.2005). – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 30 с.
8. Линдсей, В.С. Системы синхронизации в связи и управлении / В.С. Линдсей ; пер. с англ. ; под ред. Ю.Б. Бакаева и М.В. Капанова. – М. : Сов. радио. 1978. – 600 с.
9. Бураченко, И.Б. Оценка нормативных показателей защищенности речевого сигнала в аналоговой и цифровой форме. / В.К. Железняк, Д.В. Рябенко, И.Б. Бураченко // Современные средства связи : материалы XX Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14-15 окт. 2015 г. / УО «ВГКС» ; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2015. – С. 168–169.

Поступила 03.09.2015

#### ASSESSMENT OF THE NORMATIVE PROTECTION INDICATOR OF SPEECH SIGNAL BY MEANS OF COMPLEX SIGNAL WITH A LARGE BASE

V. ZHELEZNYAK, I. BURACHONAK

*This paper proposes a method of assessing a normative protection indicator of speech signal by the criterion of speech intelligibility in the  $k$ -band of equal to intelligibility of the speech signal in a high noise level by means of complex measuring signal with a large base. The value of the normative protection indicator of speech signal is defined as a ratio of protection indicator of speech signal in a form of a numeric value signal/noise ratio of the measuring complex signal with a large base at the output of speech data leakage channel to the numerical value standard indicator of the signal/noise ratio of the measuring harmonic signal provided that the signal/noise ratio of the original measuring signals are equal. The advantage of the complex measuring signal with a large base over harmonic signal when assessing protection of speech data leakage channels is shown.*