

## ИНФОРМАТИКА

УДК 534;53.08:681.3

### МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

*д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, К.Я. РАХАНОВ*  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассмотрены методы шумового сигнала и гармонического измерительного сигнала. Анализируются методическая (теоретическая) погрешность оценки защищенности при слабых сигналах в шумах высокого уровня в каналах утечки речевой информации. Указано на ряд существующих преимуществ метода гармонического сигнала. Предложен метод измерительного сигнала линейной частотной модуляции для снижения методической погрешности оценки разборчивости речи. Снижен пороговый эффект сигнала линейной частотной модуляции путем синхронного накопления. Предлагается методика оценивания параметров сигнала линейной частотной модуляции с помощью тонкой структуры спектральных составляющих функции плотности распределения сигнальной энергии Вигнера. Метод сигнала линейной частотной модуляции реализует преимущества метода измерительного гармонического сигнала и исключает его недостаток, обусловленный значительной неравномерностью амплитудно-частотной характеристики канала утечки речевой информации.*

**Введение.** Защита информации в значительной мере определяется полнотой исследований по выявлению каналов утечки речевой информации (КУРИ). Защищенность объекта информатизации объективно оценивают выделенным слабым измерительным сигналом из шумов высокого уровня в КУРИ на основании нормативного критерия [1]. Точность оценки параметров и характеристик КУРИ характеризуется многими свойствами. Среди этих свойств отметим такие, величину которых следует максимизировать либо минимизировать. В качестве критерия максимизации принимают точность, а минимизации – сложность (под сложностью понимают затраты ресурсов для достижения точности). Ограничения ресурсов обуславливают поиск компромисса между точностью и сложностью. Точность измерений характеризует степень приближения результатов к истинному значению измеряемой величины, а на практике – к ее действительному значению [2]. Точность измерений непосредственно связана с погрешностью. Погрешность разделяют на методическую (теоретическую) [2] и инструментальную. По результату анализа методической погрешности совершенствуют метод измерений, устанавливают потенциальные точностные возможности метода и ограничивающие факторы. Оценка защищенности объекта информатизации включает анализ возможности измерительных сигналов (требуемой точности, помехоустойчивости, принципа обработки, достижимого порога чувствительности, информативности и быстродействия) с учетом влияющих факторов, искажающих полученные результаты.

Цель работы – проанализировать известные методы измерения, предложить и обосновать возможности нового автоматизированного метода оценки разборчивости речи, превосходящего известные по точности.

Воспользуемся определением метода измерения как «...алгоритма использования операций воспроизведения, сравнения, измерительного преобразования, масштабирования и запоминания с целью получения значения величины – результата измерений» [3; 4].

Повышение точности – основа теоретической (научной) метрологии. Задачи метрологии сформулированы в [5]: максимизация точности измерений при ограниченных затратах ресурсов; требуемая точность при минимальных затратах ресурсов. Для реализации этих задач в [6] предложено совершенствование метода измерений и применение образцовых сигналов.

Совершенствование метода измерений – точное формализованное описание измерительных процедур, опирающееся на корректное формулирование цели. Основной целью совершенствования метода является повышение метрологического уровня результата измерений. Измерительная процедура устанавливает зависимость результата измерений от входных воздействий и выполненных преобразований. Результат измерений основан на измерительной процедуре, включающей уравнение измерений, измерительное программное обеспечение, метрологический анализ измерений и результата измерений.

Синтез метода (алгоритма) измерений с обеспечением требуемой точности рассмотрен в [1] на базе локальной измерительной схемы (ЛИС), которая включает: алгоритмическое формирование измерительного сигнала с априорной информацией; алгоритмическое выполнение измерений и обработку информации согласованным приемником, на вход которого поступают сигналы от первичных измеритель-

ных преобразователей. Такая ЛИС исключает погрешность взаимодействия между объектом измерения и системой измерительной автоматизированной.

Исходя из изложенного проведем анализ известных методов оценки защищенности речевой информации объекта информатизации.

**Метод шумового сигнала.** Шумовой сигнал рассматривают как случайный процесс. Он характеризуется нормальным законом распределения плотности вероятности, основные параметры которого – математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция. Такой сигнал используют для оценки защищенности речевого сигнала от утечки в КУРИ. Минимальный пороговый уровень для сигнала и шума (подчиненных нормальному закону) получен в работе [7] и представлен следующим выражением:

$$Z_{\text{опт}} = \frac{\sigma_N \sqrt{2}}{\sigma_s / \sigma_N} \sqrt{\left[ \ln \left( 1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_N^2} \right) - \ln \frac{p}{g} \right] \left[ 1 + \left( \frac{\sigma_s}{\sigma_N} \right)^2 \right]}, \quad (1)$$

где  $\sigma_s, \sigma_N$  – среднеквадратические отклонения сигнала и шума;  $p, g$  – вероятности наличия и отсутствия сигнала соответственно.

Используя (1) устанавливают зависимость минимального уровня обнаружения  $Z_{\text{опт}}$  от отношения сигнал/шум. Как правило, в системах передачи информации вероятности наличия и отсутствия сигнала принимают одинаковыми ( $p = g = 0,5$ ). Для этих вероятностей минимальный пороговый уровень измерительного шумового сигнала лежит в пределах от 3,72 дБ и выше. Следовательно, пороговый уровень шумового сигнала  $Z_{\text{опт}}$  является положительным и не позволяет обнаруживать сигнал под фоновыми (естественными) шумами, а значит определить критерий защищенности речевого сигнала по наличию слабого сигнала в шумах высокого уровня.

Таким образом, для обнаружения шумового сигнала  $P_s$  на выходе КУРИ уровень сигнала должен превышать уровень фонового шума  $P_n$  в точке приема над порогом обнаружения  $Z_{\text{опт}}$ . Другими словами, уровень шумового сигнала  $P_s > (P_w + P_n + Z_{\text{опт}})$ , где  $P_w$  – ослабление уровня шумового сигнала преградой. Шумовой сигнал  $P_s$  принимают и обрабатывают октавными полосами совместно с фоновыми и искусственными шумами. Так как фоновый и искусственный шум неотделим, оценка содержит значительную методическую погрешность. С другой стороны, уровень речевого и шумового измерительного сигнала  $P_s$  не должен превышать 74 дБ, так как превышение этой величины деформирует спектр речевого сигнала [8; 9].

Для измерения уровней шумовых акустических сигналов используют шумомер, не обладающий пространственной избирательностью диаграммы направленности акустического приемника (микрофона). Он также не избирателен к искусственным помехам, что вносит значительные методические погрешности в результаты измерения.

В шумомере используют согласованный фильтр для речевого сигнала (кривая А), который пропускает искусственные акустические помехи (реверберационные помехи) [10], в результате чего происходит ухудшение помехоустойчивости обработки.

**Метод гармонического измерительного сигнала.** Гармонический сигнал научно обоснован в качестве измерительного корреляционной теорией разборчивости речи [1] и апробирован в системах измерительных автоматизированных «К6-6», «ФИЛИН-А». Для обработки гармонического сигнала используют согласованный квадратурный приемник, представленный, например, в работе [11], который не чувствителен к начальной фазе измерительного сигнала. Высокая селективность согласованного квадратурного приемника решает задачу достоверного выявления измерительного сигнала во всех КУРИ (акустического, виброакустического, побочных электромагнитных излучений и наводок, электроакустического, высокочастотного при подключении системы измерительной автоматизированной к низкочастотному выходу измерительного приемника). Гармоническому сигналу, в отличие от шумового, не присущи факторы, снижающие методическую погрешность измерения.

Как следует из корреляционной теории разборчивости речи [1], относительная среднеквадратическая погрешность оценки разборчивости зависит от отношения сигнал/шум и представлена выражением:

$$\frac{\xi^2}{\xi_{\text{max}}^2} = \frac{P_n}{P_s + P_n} = \frac{1}{1 + \frac{P_s}{P_n}}, \quad (2)$$

где  $P_s, P_n$  – мощность сигнала и мощность шума на выходе приемника.

Из выражения (2) следует, что минимум среднеквадратической погрешности достигается при максимальном отношении сигнал/шум на выходе приемника.

Формируемый измерительный сигнал – финитный (конечный) по времени. При слабом измерительном сигнале в шумах высокого уровня время его выделения увеличивается. При этом происходит его накопление (увеличение отношения сигнал/шум) и уменьшение деформации спектральной плотности финитного гармонического сигнала [12; 13].

Алгоритмические методы увеличения помехоустойчивости обусловлены селективностью измерительного гармонического сигнала.

Локальная измерительная схема для гармонического сигнала обладает преимуществом перед схемой измерения для шумового сигнала – установлены метрологические требования на величину погрешности и чувствительности. Результатом измерений методом гармонического сигнала является величина разборчивости речи, полученная на основании корреляционной теории разборчивости речи. Величина разборчивости речи представляет единый критерий оценки КУРИ.

Разборчивость речи измеряют с помощью 20-ти гармонических сигналов, излучаемых на средних частотах третьоктавных полос либо полос равной разборчивости. Такое разбиение полосы учитывает: зависимость спектральной характеристика речевого сигнала от частоты; неравномерность кривой чувствительности уха; экспоненциальное спадание спектральной плотности фонового шума от нижних частот; неравномерность затухания речевого сигнала в среде распространения. Использование гармонического измерительного сигнала на средних частотах полос равной разборчивости либо третьоктавных полос допускает увеличение погрешности в каналах утечки с явно выраженными неравномерностями АЧХ каналов утечки речевой информации (например, электроакустического).

**Метод сложного измерительного сигнала.** Среди множества сложных сигналов преимуществами обладает сигнал линейной частотной модуляции (ЛЧМ), основные характеристики которого представлены в [14]. В отличие от гармонического метода, ЛЧМ-сигнал позволяет расширить возможность оценки защищенности речи и контролировать полосы частот (третьоктавные, полосы равной разборчивости), на которые разбивается спектр речевого сигнала, а не отдельные точки на оси. Для снижения погрешности оценки защищенности речи впервые предложен метод и устройство с использованием ЛЧМ-сигнала с большой базой в качестве измерительного [15; 16]. Высокая помехоустойчивость достигнута оптимальной обработкой измерительного сигнала, которая позволяет исключить влияющие факторы в КУРИ. Недостатком измерительного ЛЧМ-сигнала является наличие порогового эффекта [17]. При снижении отношения сигнал/шум до определенного значения (порога) наблюдается резкое снижение возможности выделения сигнала из шумов. Снижение порогового эффекта ЛЧМ-сигнала осуществляется с помощью синхронного накопления [18]. На практике случайное запаздывание измерительного ЛЧМ-сигнала при прохождении через среду распространения обуславливает отклонение мгновенного значения частоты. Это отклонение пропорционально скорости нарастания частоты  $\mu = 2\pi\Delta f/T$ , где  $\Delta f$  – девиация несущей частоты за время  $T$ . Пороговый эффект снижен накоплением спектральных составляющих ЛЧМ-сигнала, полученных быстрым преобразованием Фурье, исключив влияние отклонения мгновенного значения частоты и случайной фазы для снижения порогового эффекта. В результате снижения порога отношение накопленных энергий ЛЧМ-сигнала и помехи растет пропорционально количеству накоплений сигнала ( $P$ ).

Представим дискретную функцию накопления спектральных составляющих накоплений ЛЧМ-сигнала  $S_p^*$ :

$$S_{p_j}^* = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P FFT(S_i)_j, \quad (3)$$

где  $P$  – количество накоплений сигнала;  $j$  – номер спектральной составляющей измерительного сигнала ( $j \in [1..N]$ );  $N$  – количество спектральных составляющих;  $S_{p_j}^*$  – усредненная спектральная составляющая с номером  $j$ ;  $i$  – порядковый номер накопления ( $i \in [1..P]$ );  $S_i$  – ЛЧМ-сигнал  $i$ -го накопления;  $FFT$  – быстрое преобразование Фурье.

Измерительный сигнал со сниженным пороговым эффектом будет представлен  $S_p = IFFT(S_p^*)$ , где  $IFFT$  – обратное быстрое преобразование Фурье.

Для учета тонкой структуры сигналов линейной частотно-временной модуляции предлагается использовать технику совместных частотно-временных описаний сигналов. Среди множества форм частотно-временных описаний предпочтение отдается функции плотности распределения сигнальной энергии Вигнера [19]:

$$Pw(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} Z_a^*(t - \tau/2) Z_a(t + \tau/2) \exp(-j2\pi f \tau) d\tau, \quad (4)$$

где  $Z_a(t) = Z(t) + j\tilde{Z}(t)$  – аналитический сигнал;  $\tilde{Z}(t)$  – преобразование Гильберта действительного сигнала  $Z(t)$ ; \* – знак комплексного сопряжения.

Главное достоинство распределения Вигнера состоит в том, что оно обладает свойством максимальной локализации сигнальной энергии, благодаря чему возможно измерять параметры сигнала на интервале частот ЛЧМ-сигнала [20]. Оценки параметров сигнала, полученные с помощью плотности распределения Вигнера, являются устойчивыми при отношении сигнал/шум > 1.

**Имитационный эксперимент.** Имитационный эксперимент выполнен с использованием классической для теории и практики локации модели ЛЧМ-сигнала [21]:

$$S(t) = A \cdot \sin\left(2\pi f_0 t + \frac{\mu \cdot t^2}{2}\right), \tag{5}$$

где  $A$  – амплитуда сигнала;  $f_0$  – начальная частота ЛЧМ-сигнала;  $\mu$  – скорость изменения мгновенной частоты.

Остановимся на примере анализа сигнала для первой полосы равноартикуляционной разборчивости, так как эта полоса больше других подвержена помехам. Ее мгновенная частота меняется в пределах от 100 до 420 Гц [1]. Амплитуда сигнала  $A = 1$  В, длительность сигнала  $T = 1$  с, частота дискретизации  $f_d = 2048$  Гц. Интервал дискретизации  $\Delta t = 1/2048 \approx 488,2$  мкс. База сигнала  $B = \Delta\omega \cdot T = (420 - 100) \cdot 1 = 320$ .

В этом случае математическая модель измерительного сигнала (5) в дискретном виде представлена выражением (6):

$$S(n) = 1 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{n \cdot \text{ranc}(n/2048)}{2048} \left(100 + 320 \frac{n \cdot \text{ranc}(n/2048)}{2048 \cdot 2}\right)\right), \tag{6}$$

где  $n \in 0..2047$ ;  $\text{ranc}$  – выделение целой части от деления.

При  $n = 0$  начальная фаза сигнала  $S(n)$  из выражения (6) равна 0. Это позволяет провести более точный анализ согласно [12].

Математическая модель шума  $\eta(t)$  представлена генератором случайных значений, плотность вероятности которых подчинена нормальному закону. Математическое ожидание шума равно нулю, а среднеквадратическое отклонение шумового процесса  $\sigma = 5$  В, при этом отношение сигнал/шум на входе приемника равно минус 14 дБ.

Для полученной смеси сигнал плюс шум  $S_i$  20-ти кратным накоплением с помощью (3) произведено снижение порогового эффекта. Фрагмент смеси ЛЧМ-сигнала и шума до накопления показан на рисунке 1, а, после 20-ти кратного накопления (надпороговый фрагмент) – на рисунке 1, б.

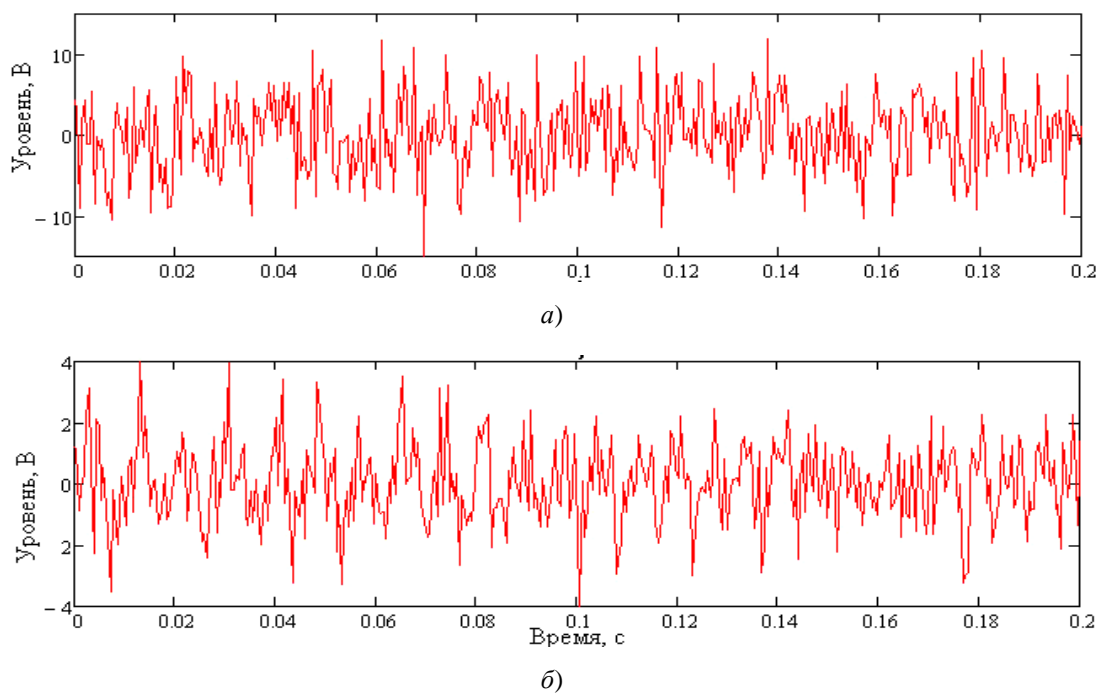


Рис. 1. Фрагмент смеси ЛЧМ-сигнала и шума до накопления (а), после накопления (б)

Дискретная форма записи распределения Вигнера (4) представлена выражением [22 – 24]:

$$Pw(k, n) = 2 \sum_{m=-N+1}^{N-1} Z_a^*(n-m) Z_a(n+m) e^{-j\frac{2\pi km}{M}}, \quad (7)$$

где  $M > 2N - 1$ ;  $k \in -N + 1 \dots N - 1$ ;  $Z_a(t) = Z(t) + j\tilde{Z}(t)$  – аналитический сигнал;  $\tilde{Z}(t)$  – преобразование Гильберта действительного сигнала  $Z(t)$ ; \* – знак комплексного сопряжения.

Заметим, что процедура перехода от аналоговой формы распределения Вигнера к дискретной не является тривиальной. Подробное описание этой процедуры приведено в [22 – 24]. Из выражения (7) следует, что для обработки аналогового сигнала он должен быть предварительно дискретизирован с тактовой частотой, более чем вдвое превышающей частоту дискретизации Котельникова. Практически для наиболее достоверного выделения слабого сигнала в шумах высокого уровня в [13] обосновано применение частоты дискретизации в десять или двадцать раз выше частоты дискретизации Котельникова.

Процедура вычисления аналитического сигнала (7) заключается в следующем [25]:

- 1) быстрым преобразованием Фурье вычисляется спектр смеси ЛЧМ-сигнала плюс шум;
- 2) спектр для отрицательных значений частот обнуляется. Спектр для положительных значений частот умножается на два;
- 3) осуществляется обратное быстрое преобразование Фурье. В результате имеем массив комплексных значений процесса, реальная и мнимая части которого связаны между собой преобразованием Гильберта.

На рисунке 2 представлено преобразование Вигнера смеси измерительного ЛЧМ-сигнала и шума, на котором отслеживается изменение интенсивности сигнальной энергии по времени.

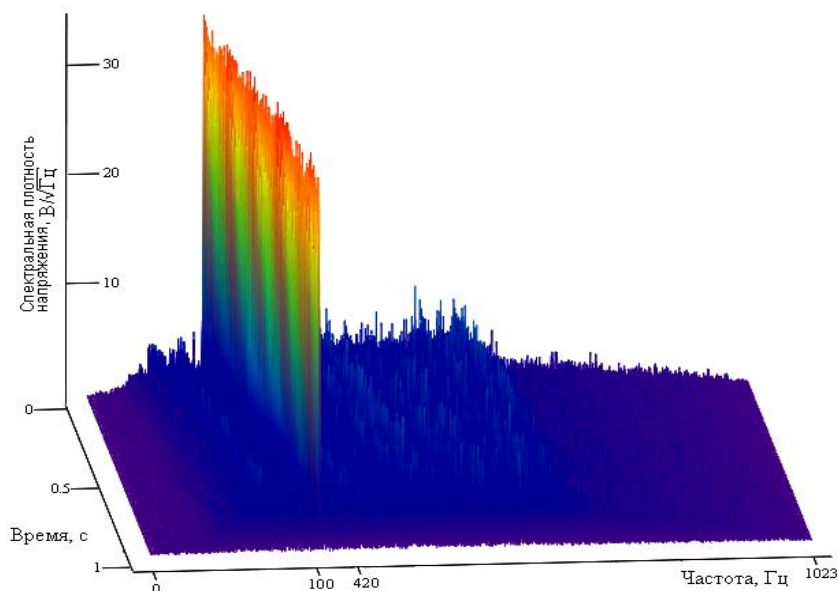


Рис. 2. Частотно-временное преобразование смеси ЛЧМ-сигнала и шума

Так как измерительный сигнал модулирован линейно по частоте, то целесообразно разделить полученную частотно-временную матрицу на срезы по времени. На каждом таком срезе присутствуют гармонические составляющие ЛЧМ-сигнала, частоты которых линейно зависят от времени. На рисунке 3 представлены временные срезы для моментов времени 0, 500, 1000 мс.

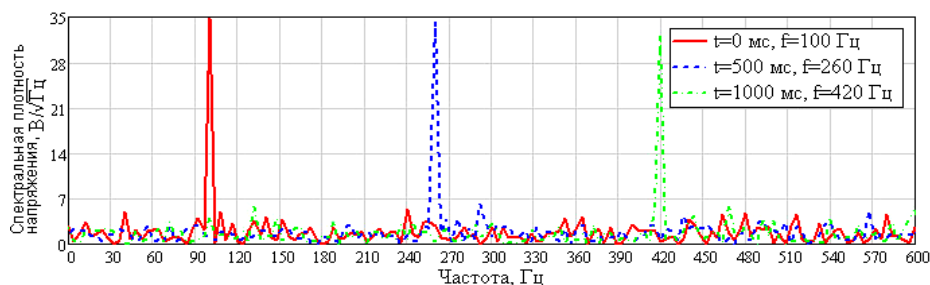


Рис. 3. Временные срезы в моменты времени  $t = 0, 500, 1000$  мс

Анализ временных срезов позволяет применить узкополосную фильтрацию и независимо оценить коэффициент разборчивости речи для каждой составляющей частоты. Оценка коэффициента разборчивости для каждой частоты аналогична оценке методом гармонического сигнала. При этом основой расчета среднеквадратической погрешности оценки разборчивости речи является функция (2), которая используется для метода гармонического сигнала.

Такой подход повышает чувствительность оценки и дополнительно учитывает, в отличие от метода гармонического сигнала, влияние воздействующего фактора – неравномерность АЧХ КУРИ.

Анализ методической погрешности оценки защищенности речи позволил получить следующие **результаты**:

а) сформирован адаптивный алгоритм управления процедурой обеспечения высокой точности по критерию порогового (нормативного) значения разборчивости речи на основании:

- локальной измерительной схемы (ЛИС);
- оптимального квадратурного приемника [11] как составной части ЛИС;
- предварительной обработки финитного гармонического измерительного сигнала с переменной длительностью;
- выбора количества полос разбиения спектральной плотности речи (полос равной разборчивости, третьоктавных полос);
- предварительного снижения порогового эффекта ЛЧМ-сигнала с помощью накопления спектральных составляющих;
- параллельной узкополосной обработки квадратурным приемником временных срезов частотно-временного преобразования Вигнера;

б) формирование результата измерений – величины разборчивости речи в автоматическом режиме – на основании корреляционной теории разборчивости речи с использованием измерений финитного гармонического и ЛЧМ-сигнала [1];

в) метод измерительного ЛЧМ-сигнала за счет учета тонкой частотно-временной структуры сигнальной энергии в отличие от метода измерительного гармонического сигнала исключает погрешность результата измерений, обусловленную значительной неравномерностью АЧХ КУРИ (например, электроакустического);

г) метод шумового сигнала для оценки защищенности акустического и виброакустического КУРИ весьма ограничен по функциональным возможностям.

#### **Выводы:**

1. Метод гармонического сигнала решает многокритериальную задачу выделения измерительных сигналов в КУРИ и представления результатов оценки с высокой точностью.

2. Метод ЛЧМ-сигнала не уступает по основным параметрам, включая чувствительность, методу гармонического сигнала, но превосходит его по точности в КУРИ со значительными неравномерностями АЧХ.

3. Метод ЛЧМ-сигнала при незначительном усложнении процедуры автоматизированных измерений обеспечивает высокую точность результата, полученного исключительно усовершенствованием алгоритма без усложнения аппаратной части системы измерительной автоматизированной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Железняк, В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учеб. пособие / В.К. Железняк. – СПб.: ГУАП, 2006. – 188 с.
2. Корнеева, Т.В. Толковый словарь по метрологии, измерительной технике и управлению качеством. Основные термины: около 7000 терминов / Т.В. Корнеева. – М.: Рус. яз., 1990. – 464 с.
3. Орнатский, П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П.П. Орнатский. – Киев: Выща школа, 1983. – 455 с.
4. Орнатский, П.П. Автоматические измерения и приборы: учебник для вузов / П.П. Орнатский. – Киев: Выща школа, 1986. – 504 с.
5. Цветков, Э.И. Основы теории статистических измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. / Э.И. Цветков. – Л.: Энергоиздат: Ленингр. отд-ние, 1986. – 256 с.
6. Методы электрических измерений: учеб. пособие для вузов / Л.Г. Журавин [и др.]; под ред. Э.И. Цветкова. – Л.: Энергоатом издат., 1990. – 288 с.
7. Тюрин, А.М. Введение в теорию статистических методов в гидроакустике / А.М. Тюрин. – Л.: ВМОЛА, 1963. – 250 с.
8. Покровский, Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи / Н.Б. Покровский. – М.: Связь, 1962. – 392 с.
9. Военные коммутационные системы и телефония / Б.А. Гордиенко [и др.]; под ред. Л.Н. Щербина. – Л.: ВАС, 1990. – 424 с.

10. Ван Трис, Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции: в 3-х т. / Г. Ван Трис; пер. с англ.; под ред. проф. В.Т. Горяинова. – М.: Сов. радио, 1977. – Т. III: Обработка сигналов в радио- и гидролокации и прием случайных гауссовых сигналов на фоне помех. – 664 с.
11. Перов, А.И. Статистическая теория радиотехнических систем: учеб. пособие для вузов / А.И. Перов. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
12. Гарновский, Н.Н. Теоретические основы электропроводной связи: в 2-х ч. / Н.Н. Гарновский. – М.: Гос. изд-во по вопросам связи и радио, 1956. – Ч. I: Общая теория пассивных линейных цепей с сосредоточенными постоянными. – 692 с.
13. Бендат, Дж.С. Основы теории случайных шумов и ее применение / Дж.С. Бендат; пер. с англ. Ю.П. Леонова, Э.Л. Наппельбаума, Ю.А. Ярошевского; под ред. В.С. Пугачева. – М.: Наука, 1965. – 464 с.
14. Денисенко, А.Н. Статистическая теория радиотехнических систем / А.Н. Денисенко. – М.: АРИ, 2007. – 200 с.
15. Способ измерения максимальной разборчивости речи: МПК G 10L 15/00 / В.К. Железняк, К.Я. Раханов; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а20100004; заявл. 04.01.2010.
16. Устройство измерения максимальной разборчивости речи: В.К. Железняк, К.Я. Раханов, заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а20100291; заявл. 24.02.2010.
17. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте: учебник для вузов ж.-д. трансп. / Г.В. Горелов [и др.]; под общ. ред. М.В. Пономаренко. – М.: Транспорт, 2001. – 415 с.
18. Харкевич, А.А. Очерки общей теории связи / А.А. Харкевич. – М.: Гос. изд-во техн.-теоретич. лит., 1955. – 268 с.
19. Алексеев, А.А. Технический анализ сигналов и распознавание радиоизлучений / А.А. Алексеев, А.Б. Кириллов. – СПб.: ВАС, 1998. – 368 с.
20. Дворников, С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений / С.В. Дворников. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 268 с.
21. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / С.И. Баскаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.
22. Claasen, T.A.C.M. The Wigner Distribution – A Tool for Time-Frequency Signal Analysis, part 1 / T.A.C.M. Claasen, W.F.G. Mecklenbrauker // Phillips Journal of Research. – 1980. – Vol. 35. – P. 217 – 250.
23. Claasen, T.A.C.M. The Wigner Distribution – A Tool for Time-Frequency Signal Analysis, part 2 / T.A.C.M. Claasen, W.F.G. Mecklenbrauker // Phillips Journal of Research. – 1980. – Vol. 35. – P. 276 – 300.
24. Claasen, T.A.C.M. The Wigner Distribution – A Tool for Time-Frequency Signal Analysis, part 3 / T.A.C.M. Claasen, W.F.G. Mecklenbrauker // Phillips Journal of Research. – 1980. – Vol. 35. – P. 372 – 389.
25. Денисенко, А.Н. Сигналы. Теоретическая радиотехника: справ. пособие / А.Н. Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 704 с.

Поступила 15.08.2011

## ESTIMATION METHODS OF SPEECH PROTECTION

V. ZHELEZNYAK, K. RAKHANAU

*Considered methods of noise signal and harmonic measurement signal. Pointed to a number of existing advantages of the harmonic signal. Proposed a method for measuring signal linear frequency modulation to reduce the methodical error of estimation of speech intelligibility. Lowered the threshold effect signal linear frequency modulation. Suggest a method estimating the parameters of linear frequency modulation signal with the fine structure of the spectral components of the density distribution of the signal Wigner energy. The method of signal linear frequency modulation takes advantage of the method of harmonic signal and eliminates its disadvantage, caused considerable irregularity of the frequency response channel information leaks.*