

Линейный характер полученной зависимости позволяет использовать ее в качестве информативной при определении глубины залегания отражателя при прочих равных условиях.

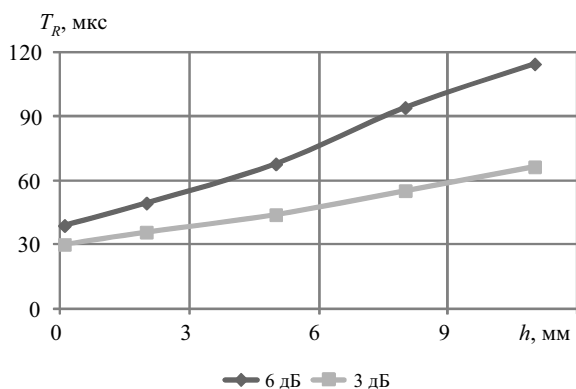


Рис. 7. Зависимость времени реверберации от местоположения дефекта  $h$  на различных уровнях относительно опорного

Полученные результаты могут быть полезны при разработке методик контроля пруткового проката зеркально-теневым методом на многократных переотражениях с применением электромагнито-акустического метода для определения критериев браковки, а также при разработке стандартных образцов предпрятия для настройки чувствительности метода.

#### Библиографические ссылки

1. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Неразрушающий контроль : справочник. В 7 т. / под общ. ред. В. В. Клюева. – Т. 3. Ультразвуковой контроль. – М. : Машиностроение, 2004. – С. 272–275.
2. Артемов В. Е., Паврос С. К. О максимально реализуемой чувствительности контроля методом «многократной тени» // Дефектоскопия. – 1982. – № 9. – С. 28–33.
3. Себко В. П., Сучков Г. М., Камардин В. М. Чувствительность ЭМА-способа контроля железнодорожных рельсов ЗТМ // Дефектоскопия. – 2004. – № 3. – С. 31–42.

Получено 17.06.2016

4. Генератор зондирующих импульсов для ЭМА-дефектоскопов / Г. М. Сучков, О. Н. Петрищев, И. В. Чердниченко, В. В. Федоров, А. В. Десятниченко, С. В. Хащина, М. С. Маслова // Дефектоскопия. – 2012. – № 9. – С. 42–47.

5. Муравьев В. В., Стрижак В. А., Балобанов Е. Н. К расчету параметров системы намагничивания электромагнито-акустического преобразователя // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 197–205.

6. Бабкин С. Э. Определение коэффициента Пуассона ферромагнитных материалов ЭМА-способом // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 51–55.

7. Электромагнито-акустический преобразователь с импульсным подмагничиванием / А. В. Михайлов, Ю. Л. Гобов, Я. Г. Смородинский, С. В. Щербинин // Дефектоскопия. – 2015. – № 8. – С. 14–23.

8. Реальная чувствительность входного акустического контроля прутков заготовок при производстве пружин / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, В. А. Стрижак, Е. Н. Кокорина, М. А. Лойферман // В мире неразрушающего контроля. – 2013. – № 1. – С. 52–60.

9. Анализ сравнительной достоверности акустических методов контроля пруткового проката из рессорно-пружинных сталей / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Е. Н. Фокеева // Дефектоскопия. – 2014. – № 8. – С. 3–12.

10. Муравьев В. В., Муравьева О. В., Кокорина Е. Н. Акустическая структуроскопия и дефектоскопия прутков из стали 60С2А при производстве пружин с наноразмерной структурой // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2013. – № 4. – С. 66–70.

11. АРД-диаграмма для контроля изделий теньевым методом с регистрацией отношения второго прошедшего импульса к первому / В. Е. Артемов, А. А. Васильков, С. В. Мамистов, С. К. Паврос // Дефектоскопия. – 1983. – № 12. – С. 80–81.

12. Паврос С. К., Реука С. В. Уравнение акустического тракта теневого метода при использовании струйных акустических контактов // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». – 2007. – № 3. – С. 20–25.

13. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Указ. соч.

14. Там же.

УДК. 621.391

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ОБНАРУЖЕНИЕ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПОМЕХ В ДЕКАМЕТРОВОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

В декаметровом канале связи значительна вероятность наличия мощной станционной помехи (СП) [1, 2]. При условии что полоса канала существенно превышает интервал частот занимаемого СП, качество приема широкополосных сигналов (ШПС) может быть повышено за счет ре-

жекции части спектра сигнала пораженной СП [3]. Первым этапом подавления влияния СП на прием ШПС является обнаружение пораженной полосы канала и определение интервала частот, занимаемого СП. Если спектральная плотность СП превышает спектральную плотность других составляющих ад-

дитивной смеси на десятки децибел, то такая помеха оказывает влияние на дискретные частотные составляющие, расположенные за пределами интервала частот локализации СП.

Действие мощной СП в полосе ШПС приводит к изменению степени неравномерности спектральной плотности аддитивной смеси, что усложняет задачу обнаружения СП и определения ее положения в полосе частот. Поэтому для решения задачи обнаружения и оценке СП необходимо разработать алгоритм решения такой задачи в условиях значительной неравномерности спектров составляющих аддитивной смеси путем применения строго формализованных процедур анализа ДПФ аддитивной смеси.

Рассмотрим соотношения спектральных и мощностных характеристик составляющих аддитивной смеси, содержащей СП, в предположении примерно равномерных спектров составляющих полезного сигнала. Мощность ШПС в полосе его размещения  $F_S$  при спектральной плотности  $G_S$

$$P_S = G_S F_S. \quad (1)$$

Мощность фоновой помехи на входе приемника, имеющей спектральную плотность  $G_0$ ,

$$P_0 = G_0 F_S. \quad (2)$$

Тогда мощность СП, относительная ширина спектра которой  $\delta_\Delta < 1$ , при спектральной плотности  $G_c$  есть произведение

$$P_c = G_c \delta_\Delta F_S. \quad (3)$$

Введем следующие относительные характеристики составляющих:

– отношение с/п – отношение мощностей ШПС и фоновой помехи:

$$q_0^2 = \frac{P_S}{P_0} = \frac{G_S}{G_0}; \quad (4)$$

– отношение мощности аддитивной помехи на входе приемника:

$$q_c^2 = \frac{P_c}{P_0} = \frac{G_c}{G_0} \delta_\Delta. \quad (5)$$

Подавление СП обеспечивает реализацию приема при отношении с/п на входе (1.4), в то же время прием без подавления СП реализуется при

$$q_S^2 = \frac{P_S}{P_0 + P_c} = \frac{q_0^2}{1 + q_c^2}. \quad (6)$$

Связь спектральных плотностей в полосе поражения СП и за ее пределами определяется через относительные характеристики аддитивной смеси:

$$\frac{G_c + G_0 + G_S}{G_0 + G_S} = 1 + \frac{q_c^2}{\delta_\Delta (1 + q_0^2)}. \quad (7)$$

Среднее значение спектральной плотности аддитивной смеси в полосе ШПС

$$\bar{G} = G_S + G_0 + \delta_\Delta G_c. \quad (8)$$

Для отношения (8) к спектральной плотности за пределами полосы СП имеем

$$\frac{\bar{G}}{G_0 + G_S} = 1 + \delta_\Delta \frac{q_c^2}{1 + q_0^2}, \quad (9)$$

или, используя (8),

$$\frac{\bar{G}}{G_c + G_0 + G_S} = \frac{\bar{G}}{G_0 + G_S} \frac{1 + q_0^2}{1 + q_0^2 + q_c^2} = \frac{1 + q_0^2 + \delta_\Delta q_c^2}{1 + q_0^2 + q_c^2}. \quad (10)$$

Из (9) следует, что относительное среднее значение спектральной плотности растет пропорционально отношению (5) и относительной ширине СП. Кроме того, отношение средней спектральной плотности к спектральной плотности в полосе СП при увеличении (5) стремится к значению  $\delta_\Delta$  относительной ширины СП. Анализ (9) и (10) показывает, что обнаружение наличия СП в полосе частот на основе оценки среднего уровня спектральной плотности не выполняется. Возникающие при этом проблемы иллюстрируются примерами на рис. 1, где представлены варианты нормированных энергетических спектров аддитивной смеси.

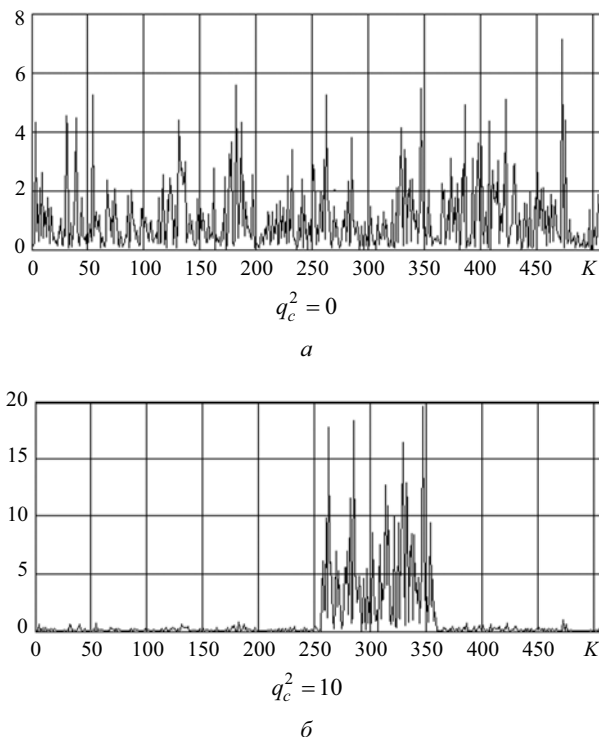


Рис. 1. Варианты дискретного энергетического спектра аддитивной смеси при  $q_0^2 = 0,5$  (а) и при  $\delta_\Delta = 0,2$  (б)

Нормирование выполнялось таким образом, чтобы среднее значение дискретной спектральной плотности нормированного спектра было равно 1. Представленные на рис. 1 примеры соответствуют реле-

евскому распределению модулей составляющих, при некоторой неравномерности суммарного спектра ШПС и фоновой помехи задаются коррелированным (по частоте) случайным дискретным процессом. Параметр  $\delta_p$  характеризует относительную величину смещения СП относительно его центра.

Реализации спектров на рис. 2 показывают, что при отсутствии СП ( $q_c^2 = 0$ ) дискретный спектр есть однородный случайный процесс, который содержит большое число линий, уровень которых значительно выше уровня средней спектральной плотности. При наличии СП уровень выбросов за пределами участка СП уменьшается, и возникают дискретные линии на участке СП, значительно превышающие среднее значение и выбросы за пределами участка СП. В пределах участка, занятого СП, имеются дискретные линии с очень низким уровнем. Поэтому при пороговом определении участка спектра, пораженного СП, область СП будет содержать как положительные, так и отрицательные решения. Поэтому необходимо иметь порог много больше среднего значения спектральной плотности в полосе частот. Однако в этом случае при наличии СП флуктуации дискретного спектра в полосе СП приводят к большому числу пропусков (провалов обнаружения) вследствие значительного превышения порога обнаружения. Изменение спектральной плотности аддитивной смеси по полосе частот можно рассматривать как процесс, содержащий две составляющие: одна отражает сглаженное изменение спектральной плотности, а другая – ее флуктуации, которые носят случайный характер. Поэтому анализ коэффициентов ДПФ энергетического спектра аддитивной смеси может использоваться для получения решения о наличии или отсутствии СП в полосе частот сигнала.

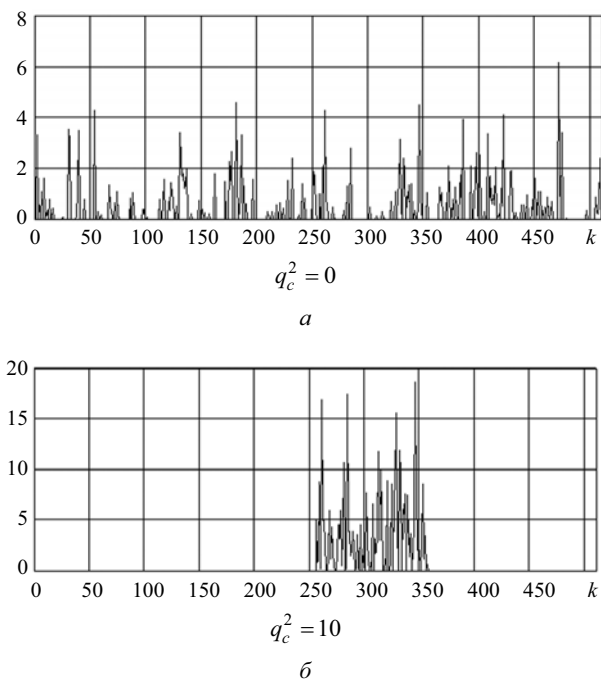


Рис. 2. Выбросы дискретного энергетического спектра аддитивной смеси при  $q_c^2 = 0,5$  (а) и  $\delta_\Delta = 0,2$  (б)

Для получения оценок соотношения первых коэффициентов ДПФ предложена модель энергетического спектра (рис. 3). Вычисление коэффициентов разложения функции  $w(x)$  в ряд Фурье и квадратов модулей элементов позволяет утверждать, что при наличии двух СП сопоставимой спектральной плотности соотношения коэффициентов зависят не только от относительных значений ширины СП, но также и от их взаимного положения в полосе частот сигнала.

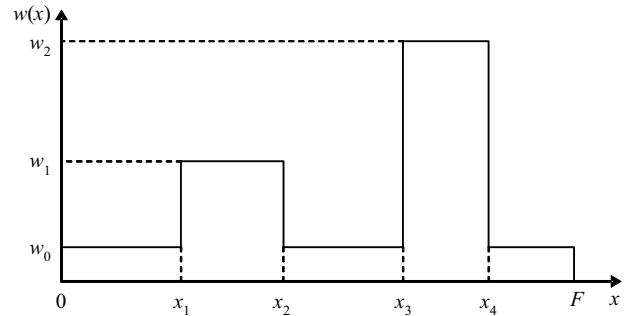


Рис. 3. Модель энергетического спектра с двумя СП

Однако в этом случае возможны ситуации, когда имеет место малое значение квадрата модуля при наличии сильных СП, которые не будут обнаруживаться на основе анализа коэффициентов ДПФ. Выполненное моделирование подтвердило высказанное предположение о возможности определения наличия значительной СП на основе анализа коэффициентов ДПФ энергетического спектра.

В таблице представлены оценки среднего и дисперсии квадратов модуля коэффициентов ДПФ с номерами 1 и 2, полученные в процессе моделирования, для ряда значений параметров СП  $q_c^2$  и  $\delta_\Delta$ . При моделировании энергетический спектр нормировался его средним значением, что обеспечивало единичное значение модуля коэффициента ДПФ с номером 0. Полученные оценки показывают результат нормирования квадратов модулей коэффициентов с номерами 1 и 2 и значением квадрата модуля коэффициента с номером 0. Анализ таблицы позволяет утверждать, что при отсутствии СП ( $q_c^2 = 0$ ) линии ДПФ энергетического спектра с номерами 1 и 2 имеют незначительный по отношению к линии с номером 0 средний уровень при малой дисперсии.

При наличии СП (даже сравнительно слабой) имеет место значительный уровень коэффициента с номером 1, который сравнительно слабо флуктуирует. Величина этого коэффициента возрастает с увеличением параметра  $q_c^2$ , с уменьшением скорости роста по мере увеличения параметра  $q_c^2$ . При фиксированном значении  $q_c^2$  величина данного коэффициента уменьшается с ростом  $\delta_\Delta$ . Коэффициент ДПФ с номером 2 имеет значительную величину только при относительно узкой СП ( $\delta_\Delta < 0,4$ ). Следовательно, сравнение коэффициентов ДПФ с номе-

рами 1 и 2 позволяет оценить относительную ширину СП. Таким образом, анализ трех первых коэффициентов ДПФ энергетического спектра позволяет принять решение о наличии или отсутствии значи-

тельной СП и оценить ее относительную ширину. Решение о наличии значительной СП позволяет перейти к пороговому обнаружению ее положения на дискретной оси частот.

#### Оценки среднего и дисперсии квадратов модуля коэффициентов ДПФ с номерами 1 и 2

№ линии	$q^2$	$\delta_\Delta = 0,1$		$\delta_\Delta = 0,2$		$\delta_\Delta = 0,4$		$\delta_\Delta = 0,6$	
		среднее	дисперсия	среднее	дисперсия	среднее	дисперсия	среднее	дисперсия
1	0	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	–
	5	0,568	$2 \cdot 10^{-3}$	0,517	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,34	$7,1 \cdot 10^{-4}$	0,153	$4,4 \cdot 10^{-4}$
	10	0,728	$1 \cdot 10^{-3}$	0,661	$6,2 \cdot 10^{-4}$	0,434	$5,6 \cdot 10^{-4}$	0,195	$4,8 \cdot 10^{-4}$
	100	0,939	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,851	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,556	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,249	$5,9 \cdot 10^{-4}$
	1000	0,965	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,874	$1 \cdot 10^{-4}$	0,572	$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,256	$6,1 \cdot 10^{-4}$
2	0	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	–
	5	0,513	$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,34	$9,6 \cdot 10^{-4}$	0,035	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0,018	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	10	0,658	$1 \cdot 10^{-3}$	0,435	$8,4 \cdot 10^{-4}$	0,044	$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,022	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	100	0,851	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0,561	$8,7 \cdot 10^{-4}$	0,056	$3,8 \cdot 10^{-4}$	0,027	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	1000	0,875	$2 \cdot 10^{-4}$	0,576	$9,1 \cdot 10^{-4}$	0,058	$3,9 \cdot 10^{-4}$	0,028	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Провалы в обнаружении, обусловленные флуктуациями спектральной плотности СП, могут быть ликвидированы специальной обработкой решений, предусматривающей инверсию решений порогового обнаружения в сравнительно узких интервалах между превышениями порога. Для блочковой обработки, т. е. при использовании  $n_p$  ШПС, оценка энергетического спектра, поступающая на анализ определения СП, будет характеризоваться значительно меньшим уровнем флуктуаций дискретных линий по сравнению с рассмотренным случаем оценок спектра на минимальном интервале. Дисперсия флуктуаций дискретных линий уменьшится в  $n_p$  раз.

Получено 13.09.2016

Таким образом, усреднение приводит к значительному уменьшению быстрых (флуктуационных) изменений оценки энергетического спектра.

#### Библиографические ссылки

1. Комарович В. Ф., Сосунов В. Н. Случайные помехи и надежность КВ-связи. – М.: Связь, 1977. – 136 с.
2. Тузов Г. И., Поставной В. И., Мудров О. И. Исследование влияния режекции спектров сложных частотно-фазоманипулированных сигналов на их корреляционные свойства // Радиотехника. – 1988. – № 10. – С. 30–33.
3. Там же.

УДК 681.322.067

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
Р. Бустами, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ОБЛАСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

З ащита информации от третьих сторон и обеспечение конфиденциальности данных является одной из задач криптографического обеспечения. В настоящей работе авторами предложен результат создания и технической реализации алгоритма шифрования определенных частей цифровых изображений. Разработка выполнена для широко используемых в настоящее время четырехсимметричных блочных алгоритмов: *Data Encryption Standard* [1], Государственный стандарт 28147–89 [2], Международный алгоритм шифрования данных [3, 4, 5], *Ron Code 5* [6, 7]. В настоящее время в современных симметричных блочных алгоритмах используются по крайней мере четыре режима реализации криптографических процессов [8]: режим электронной

шифровой книги (*Electronic Code Book*), режим сцепления блоков шифра (*Cipher Chaining Book*), режим обратной связи по шифру (*Cipher-Feedback*) и режим обратной связи по выходу (*Output-Feedback*). Так как каждый из режимов имеет свои преимущества и недостатки, то решается задача исследования работы алгоритмов в разных режимах. Экспериментальные исследования выполнены на языке программирования *Java* с целью возможного использования результатов выполненных исследований в реальных приложениях.

Выполнен анализ гистограммы исходного (рис. 1) и зашифрованного изображения (рис. 2). На рис. 3 приведены гистограммы исходного изображения и зашифрованного изображения по алгоритмам DES, GOST,