

+150 °С, а чувствительность фотодиодов типа ФД-24К практически не меняется (возрастает только тепловой ток). Все это с учетом коэффициента пропускания оптической среды необходимо учитывать при выборе мощности, подводимой к излучателю.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что оптическая среда в подпоршневом пространстве ДВС имеет достаточно высокие значения коэффициента пропускания оптического излучения в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн и при правильном выборе параметров оптоэлектронной пары. С учетом подводимой к излучателю энергии ОКС является наиболее оптимальным при реализации телеметрических систем измерения температуры поршня.

Библиографические ссылки

1. *Круглов М. Г., Павлович А. Ю., Рыбаков А. Ю.* Измерение температуры в двигателях внутреннего сгорания. – М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1975. – 31 с.

2. *Иванов Ю. М.* Измерение температуры деталей поршня быстроходного двигателя с помощью кристалли-

Получено 09.05.2016

ческого измерителя температур // Проблемы прочности. – 1985. – № 2. – С. 45–46.

3. *Орлин А. С., Заренбин И. О., Литвиненко И. О.* Опыт применения бесконтактного измерения температур поршня быстроходного ДВС // Известия вузов. Машиностроение. – 1971. – № 12. – С. 77–81.

4. *Ключников Г. М., Сяктерев В. Н., Кондратьев В. Н.* Телеметрическая система с оптическим каналом связи для измерения параметров подвижных двигателей // Двигателестроение. – 1983. – № 2. – С. 14–17.

5. *Иванов В. И.* Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.

6. *Порфирьев Л. Ф.* Теория оптоэлектронных приборов и систем. – Л.: Машиностроение, 1980. – 272 с.

7. Измерение параметров приемников оптического излучения / под ред. Л. Н. Курбатова. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

8. *Сяктерев В. Н., Васильев И. А.* Исследование индуктивного канала энергоснабжения телеметрической системы термометрирования поршня двигателя внутреннего сгорания // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 1. – С. 152–156.

9. *Порфирьев Л. Ф.* Указ. соч.

10. Измерение параметров приемников оптического излучения.

УДК 620.179.16

О. В. Муравьева, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

М. Ю. Соков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ ДЕФЕКТА НА ПАРАМЕТРЫ МНОГОКРАТНО-ТЕНЕВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПРУТКОВ *

Введение

К основным преимуществам многократно-теневого метода следует отнести отсутствие мертвой зоны, а также возможность выявления дефектов произвольной ориентации. Чувствительность метода ограничена количеством сквозных прозвучиваний в связи с потерями, обусловленными затуханием ультразвука в материале, расхождением ультразвукового пучка, потерями при отражении на границе объект контроля – контактная жидкость – преобразователь и отражательной способностью дефекта, что обусловило оптимальную область применения метода автоматизированного контроля листов толщиной 20–60 мм в иммерсионном варианте при чувствительности к дефектам диаметром 3–5 мм [1–3].

Прутковый прокат, часто применяемый в качестве материала для сложных и ответственных конструкций, в процессе производства проходит множество технологических циклов, при этом возможно появление разнообразных внутренних и поверхностных дефектов. Одним из способов решения задач нераз-

рушающего контроля (НК) пруткового проката и изделий из него является использование метода многократной тени с применением проходного электромагнитно-акустического (ЭМА) преобразователя. К существенным преимуществам ЭМА-метода относятся: отстройка от качества акустического контакта; возможность реализации УЗ-контроля без иммерсионной жидкости и дополнительной подготовки поверхности с обеспечением достаточно высокой производительности контроля; возможность использования дополнительных информативных параметров – скорость и затухание волн, эффективность ЭМА-преобразования; возможность использования метода для контроля различных металлов и сплавов [4–7]. Результаты испытаний ЭМА-метода многократной тени на прутках пружинно-рессорной стали диаметрами от 10 до 30 мм с различным качеством обработки поверхности показали возможность обнаружения с высокой чувствительностью следующих недопустимых внутренних и поверхностных дефектов: неметаллические включения (оксиды точечные, силикаты недеформирующиеся, сульфиды, силикаты

хрупкие, оксиды строчечные), дефекты поверхности (вмятины, прокатные и слиточные пленки, закаты, раскатанные пузыри, раскатанные трещины, раскатанные загрязнения, перегрев поверхности, обезуглерожженный слой и т. д.) [8–10].

Для успешной реализации предлагаемого метода для настройки чувствительности и определения критериев браковки требуется исследование акустического тракта, разработка стандартных образцов предприятия с модельными отражателями и оценка влияния их параметров на информативные характеристики регистрируемых сигналов. Вопросы анализа акустического тракта теневых методов рассмотрены в работах [11, 12]. Ввиду того что проходной ЭМА-преобразователь формирует акустические волны с фокусировкой по центру, акустический тракт такого метода не соответствует общепринятым представлениям о взаимодействии с дефектами расходящихся волн, а существенно зависит от положения дефекта относительно центра прутка.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния глубины залегания искусственного дефекта на поведение серии импульсов многократных отражений для модельного отражателя в виде торцевого цилиндрического сверления.

Используемые подходы

Схема экспериментальной установки, реализующей ЭМА-метод многократной тени, представлена на рис. 1. Зондирующий импульс с генератора поступает на проходной ЭМА-преобразователь, излучающий акустическую волну, переотражения которой по диаметрам прутка регистрируются тем же ЭМА-преобразователем и через полосовой фильтр и усилитель поступают на вход платы аналого-цифрового преобразователя (АЦП), и передающий оцифрованную информацию через USB-интерфейс на персональный компьютер. С помощью специализированного программного обеспечения осуществляется визуализация и последующая обработка сигнала. Для уменьшения влияния помех в условиях низкого коэффициента ЭМА-преобразования серии многократных переотражений регистрировались с усреднением по 32 измерениям.

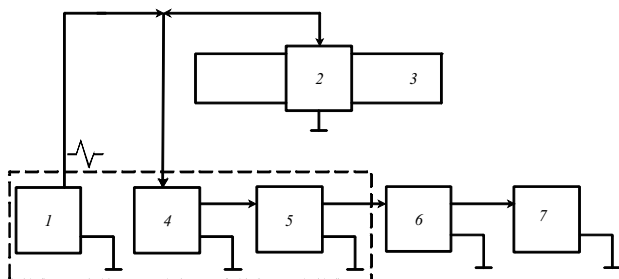


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки: 1 – генератор зондирующих импульсов; 2 – проходной ЭМА-преобразователь; 3 – образец прутка; 4 – полосовой фильтр; 5 – высокочастотный усилитель; 6 – аналого-цифровой преобразователь; 7 – персональный компьютер со специализированным программным обеспечением

Проходной ЭМА-преобразователь содержит соосный с прутком цилиндрический высокочастотный индуктор с током и источник поля подмагничивания. Излучение поперечной волны с осевой поляризацией во всех радиальных направлениях (перпендикулярно оси прутка) обеспечивается за счет ориентации поля подмагничивания в радиальных направлениях в приповерхностной области прутка по отношению к направлению вихревых токов за счет электродинамического механизма. Модель конструкции ЭМА-преобразователя в разрезе представлена на рис. 2.

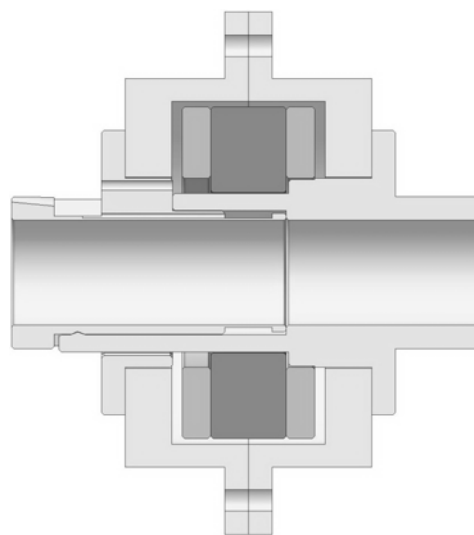


Рис. 2. Конструкция проходного ЭМА-преобразователя в разрезе

Для экспериментального определения чувствительности многократно-теневого ЭМА-метода к модельным дефектам, залегающим на различной глубине, изготовлены четыре образца прутка из стали 03Х14Н7Б с высоким коэффициентом ЭМА-преобразования диаметром $D = 22$ мм, длиной 100 мм с боковыми цилиндрическими сверлениями диаметром $d = 2$ мм, протяженностью вдоль оси $l = 20$ мм на различном расстоянии от центра прутка h (0,1 мм, 2 мм, 5 мм, 8 мм) с одной стороны торца (рис. 3). Для изготовления образцов использовалась высокоточная технология лазерного сверления. Зона прутка с противоположной стороны торца использовалась для сравнения с параметрами сигнала в бездефектной области.

В качестве примера на рис. 4 представлены зарегистрированные сигналы для бездефектной области прутка (рис. 4, а) и области с продольным цилиндрическим сверлением, близким к центру образца (рис. 4, б). На эхограмме первым наблюдается зондирующий импульс, за которым следует восстановление входного усилителя после зондирующего импульса около 15 мкс, и далее – серия многократных переотражений по диаметру прутка. В случае наличия в прутке внутреннего дефекта уменьшается амплитуда сигнала при каждом переотражении и сокращается время реверберации акустической волны.

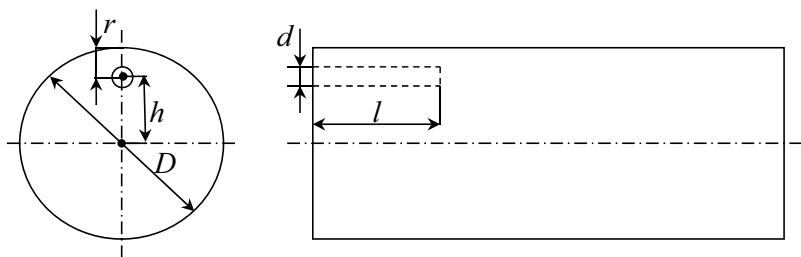
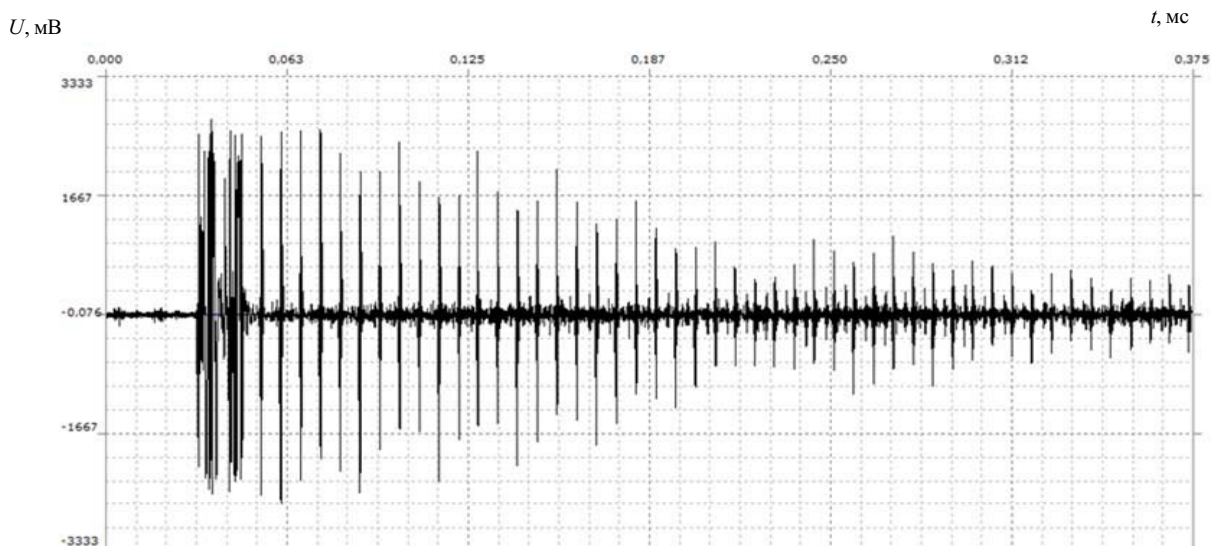
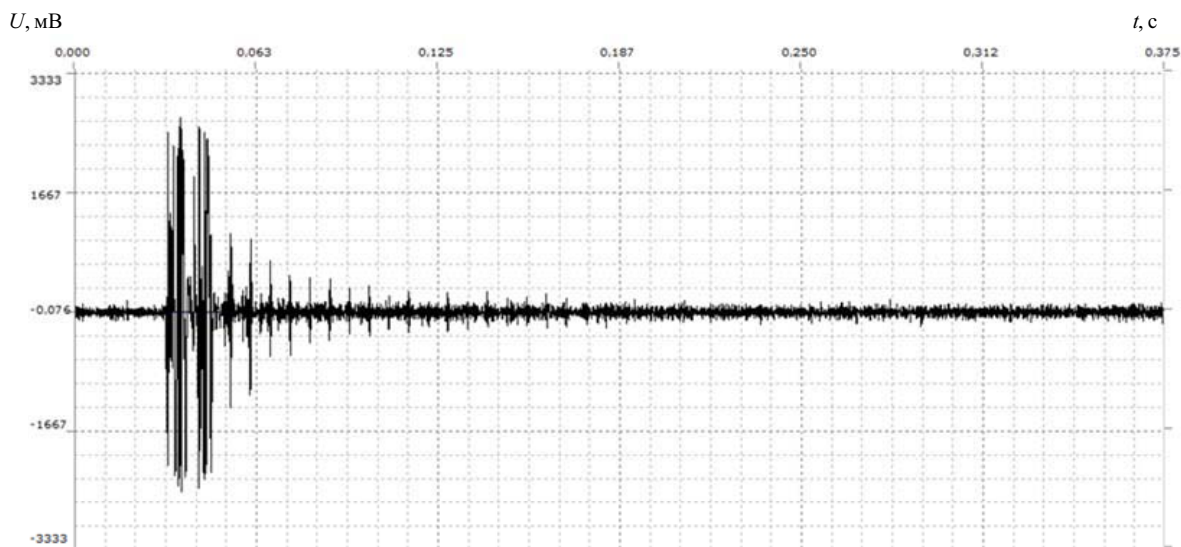


Рис. 3. Расположение модельного отражателя (боковое цилиндрическое сверление) в образце прутка



а



б

Рис. 4. Эхограмма бездефектной области прутка (а) и области с боковым цилиндрическим сверлением (б) ($h = 0,1$ мм)

В качестве информативных параметров регистрируемых сигналов использовалась кривая ослабления серии многократных отражений и соответствующее время реверберации. Ввиду наличия фазового сдвига при каждом переотражении на $\pi/2$ наблюдается смещение импульсов по оси ординат с периодичностью в четыре импульса; при расчете учитывалась амплитуда импульсов, кратных четырем, начиная с треть-

го как наиболее различного после восстановления входного тракта усилителя после воздействия зондирующего импульса.

Результаты и обсуждение

Зависимости огибающей амплитуд серии многократных переотражений сигналов для бездефектных областей прутка и областей с искусственными отражателями в виде бокового цилиндрического сверле-

ния на различной глубине залегания h представлены на рис. 5 для первых 15 переотражений. Для анализа акустического тракта теневых методов используется коэффициент выявляемости, определяемый соотношением амплитуд отраженных донных импульсов в дефектной и бездефектной областях [13]. В случае многократно-теневого метода может быть введен коэффициент выявляемости на n -м отражении K_n :

$$K_n = \frac{U_n^d}{U_n^0}, \quad (1)$$

где U_n^d и U_n^0 – n -е прошедшие импульсы для области с дефектом и для бездефектной области соответственно.

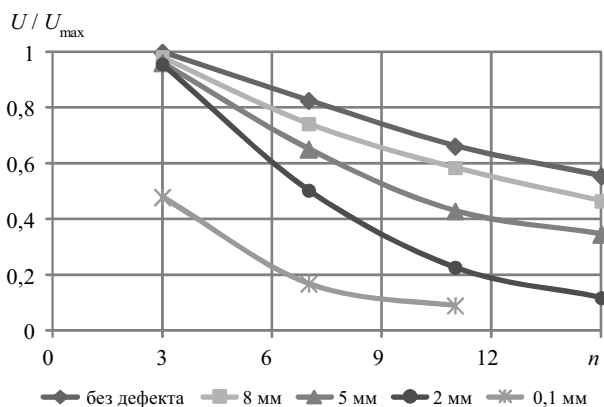


Рис. 5. Кривая ослабления серии многократных отражений для бездефектной и дефектных областей от номера отражения n при различных h

Обобщенные зависимости коэффициента выявляемости от местоположения h искусственного отражателя относительно поверхности при различном количестве отраженных импульсов n приведены на рис. 6.

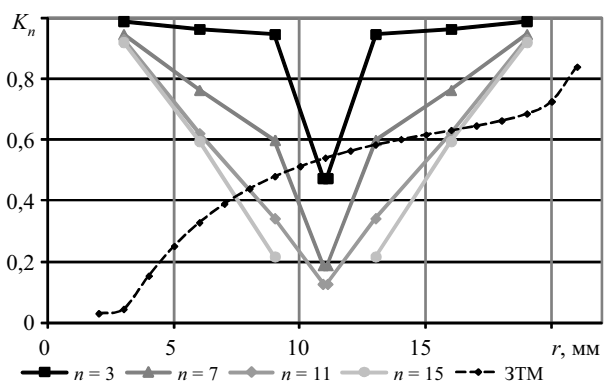


Рис. 6. Зависимость коэффициента выявляемости дефекта от глубины залегания дефекта r относительно поверхности для многократно-теневого и зеркально-теневого методов

Наблюдается симметрия коэффициента выявляемости K_n относительно оси прутка с максимумом чувствительности на оси. Последнее объясняется наличием фокусировки по центру прутка, обеспечи-

ваемой с помощью проходного ЭМА-преобразователя. Имеет место нелинейная зависимость коэффициента выявляемости от положения искусственного отражателя. При прочих равных условиях чувствительность метода многократной тени тем выше, чем большее количество отражений подлежит анализу. В частности, из графиков рис. 6 следует, что коэффициент выявляемости при малых n имеет минимальное значение (наибольшую чувствительность) к боковым цилиндрическим сверлениям с минимальным расстоянием h от центра сечения прутка, при этом дефекты, более удаленные от центра сечения прутка, на коэффициент выявляемости практически не влияют. На высоких n (от 11 и выше) коэффициент выявляемости имеет практически линейную зависимость от глубины залегания отражателя, при этом чем ближе отражатель к поверхности прутка, тем меньше коэффициент выявляемости. Следует отметить, что в условиях недостаточной эффективности ЭМА-преобразования для некоторых марок сталей количество анализируемых отражений может оказаться небольшим.

Для сравнения на рис. 6 представлена кривая коэффициента выявляемости $K_{ЗТМ}$ при реализации зеркально-теневого метода контроля листов в зависимости от глубины залегания модельного отражателя типа плоскодонного отверстия. Кривая построена на основании приведенной в [14] формулы

$$K_{ЗТМ} = 1 - \frac{4sD}{\lambda r(2D-r)} + \frac{s^2D}{\lambda^2 r^2 (D-r)}, \quad (2)$$

где λ – длина волны; s – площадь отражающей поверхности дефекта; D – толщина объекта контроля; r – расстояние от преобразователя до дефекта.

Расчеты приведены для искусственного дефекта в листе толщиной D , равной диаметру прутка, на частоте $f = 2,5$ МГц. Для сопоставления чувствительностей в качестве диаметра плоскодонного отверстия выбрано значение, равное 0,96 мм и эквивалентное по отражающей способности диаметру бокового цилиндрического сверления. Видно, что в случае использования зеркально-теневого метода при контроле листа чувствительность к дефекту ухудшается (коэффициент выявляемости растет) с увеличением глубины его залегания. Значение коэффициента выявляемости зеркально-теневого метода сопоставимо со значениями коэффициентов выявляемости разрабатываемого многократно-теневого метода.

Одним из информативных параметров при анализе серии многократных отражений может служить время реверберации сигнала, определяемое количеством отражений n_x , за которое амплитуда огибающей уменьшается на x децибел относительно опорного отражения ($n = 3$):

$$T_R = n_x C_t. \quad (3)$$

Зависимости времени реверберации от местоположения искусственного отражателя относительно оси по уровням 3 дБ и 6 дБ представлены на рис. 7.

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

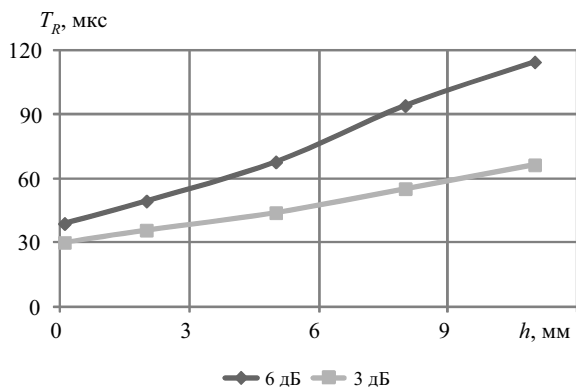


Рис. 7. Зависимость времени реверберации от местоположения дефекта h на различных уровнях относительно опорного

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 предпрития 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 теневым 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-