

нально-структурную схему ИС виброакустического функционального диагностирования объектов, разработанную авторами и реализованную в условиях производства [1].

Спецификой квазидетерминированных и случайных ДЭИС во многих предметных областях является конечность интервала измерения и сложность, т.е. наличие в их структуре скрытых периодических, почти периодических и ангармонических сигналов<sup>7</sup>, измеряемые параметры которых, как правило, и являются основными носителями информации о состоянии исследуемых объектов, свойствах анализируемых явлений и процессов.

Отметим, что данный класс ЦЭИС относится к классу сигналов *со смешанной структурой*, измерение параметров которых носит статистический характер и в общей теории измерений [2] практически не рассматривается. Для описания и измерения параметров этого класса ДЭИС, требуется:

- использование не только временной формы, но и частотной и/или частотно-временной форм представления (включая применение частотных и частотно-временных математических моделей);
- разработка теоретических основ процессорных измерений параметров сигналов различной структуры и информационной природы во временной, частотной и частотно-временной областях;
- разработка соответствующих методов, алгоритмов и ПриИС, обеспечивающих точность, диапазонность и воспроизводимость измерений во временной, частотной и частотно-временной областях.

Исходя из этих положений, а также из определения понятия области измерений<sup>8</sup>, по мнению авторов настоящей работы, **процессорные измерения** на конечных интервалах параметров ЦЭИС,

в силу присущих им специфических свойств и закономерностей, выделяющих их из общей области измерений, следует рассматривать в рамках *отдельной области измерений* [4,5].

Данную область измерений параметров сложных ЦЭИС на конечных интервалах предлагается обозначить термином **«область процессорных измерений»**, выделив, их, таким образом, из общей области прямых и косвенных измерений.

Отметим, что вводимое в данной работе **понятие процессных измерений** не следует смешивать с **понятием цифровых измерений**, которые широко применяются в практике общей теории измерений [2].

1. Пономарева, О.В. Иерархическая морфологическо-информационная модель системы функционального диагностирования объектов на основе цифровой обработки сигналов / О.В. Пономарева, В.А. Пономарев, А.В. Пономарев // Датчики и системы. – 2014. – № 1(176). – С. 2–8.
2. Пономарева, О.В. Основы теории дискретных косвенных измерений параметров сигналов / О.В. Пономарева – Ижевск: Издательство ИжГТУ, 2016. – 172 с.
3. Оппенгейм Э, Применение цифровой обработки сигналов: перев. с англ. / Э. Оппенгейм. – М.: Мир, 1980. – 552 с.
4. Пономарева, Н.В. Повышение точности и расширение функциональных возможностей цифровых фильтров на основе частотной выборки / О.В. Пономарева, Н.В. Пономарева // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 114–119.
5. Пономарева, О.В. Метод эффективного измерения скользящего параметрического спектра Фурье / В.А. Пономарев, О.В. Пономарева, А.В. Пономарев // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 31–38.

УДК 535-3, 535.314

## ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАТНОРАССЕЯННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Дудчик Ю.И., Хилько Г.И., Кучинский П.В., Новик А.Н., Кречотень О.В.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Минск, Республика Беларусь

Рентгеновские лучи широко используются в неразрушающем контроле для просвечивания объектов. При этом, как правило, источник и приемник излучения располагаются по разные стороны от объекта, что не всегда возможно реализовать. Альтернативным методом является получение изображения в обратнорассеянных рентгеновских лучах,

при котором объект сканируется рентгеновским пучком, а отраженное излучение регистрируется детектором, расположенным со стороны источника излучения. Несмотря на то, что обратнорассеянное рентгеновское излучение уже давно используется в технике, например, при измерении толщин объектов [1], его использование для получения изображения

<sup>7</sup> **Ангармонический сигнал** – периодический сигнал, представляющий собой сумму основного гармонического сигнала (гармонического сигнала наименьшей частоты) и некоторых его гармоник (гармонических сигналов более высоких частот, частоты которых кратны частоте основного гармонического сигнала).

<sup>8</sup> **Область измерений** – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой (РМГ 29 – 99).

объектов в литературе описано в значительно меньшей степени и в основном в виде патентов.

Ранее нами реализован рентгеновский сканер с использованием обратнорассеянного рентгеновского излучения [2] и показана возможность измерения интенсивности обратнорассеянного излучения при построчном сканировании образцов коллиматорным рентгеновским пучком от переносного малоомощного рентгеновского аппарата РЕЙС-25 с напряжением на трубке 25 кВ и током 100 мкА [2].

В данном сообщении приведены изображения объектов, полученные с использованием сканера, в котором в качестве источника излучения используется более мощный рентгеновский аппарат, работающий при более высоком напряжении – 45 кВ, что важно для метода обратного рассеяния рентгеновских лучей.

Разработанный сканер содержит рентгеновскую трубку, механическое сканирующее устройство для формирования узконаправленного рентгеновского пучка и детектор обратнорассеянного рентгеновского излучения.

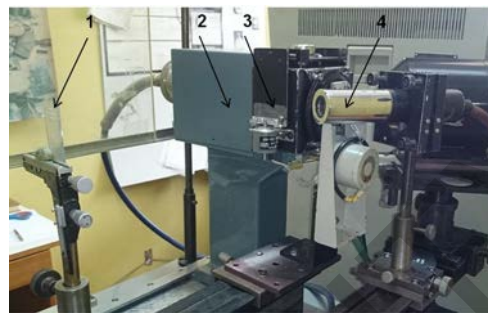
Процесс получения изображения заключается в том, что, перемещая узконаправленный рентгеновский луч, можно произвести поэлементное построение изображения объекта в обратнорассеянном рентгеновском излучении. Обратнорассеянное рентгеновское излучение, приобретающее при этом амплитудную модуляцию вследствие взаимодействия с объектом, можно собрать и преобразовать в электрические сигналы, пригодные для передачи, обработки и записи.

Разработанное сканирующее устройство содержит коллиматор рентгеновских лучей, который перемещается по двум координатам, и таким образом формирует рентгеновский пучок в заданном месте на объекте. Точность позиционирования рентгеновского пучка на исследуемом объекте при его удалении от источника излучения на расстояние 500 мм составила порядка 1-2 мм. Частота перемещения рентгеновского пучка по исследуемому объекту устанавливается программно в диапазоне от 50 до 1000 точек в секунду. При перемещении пучка время счета импульсов от детектора обратнорассеянного рентгеновского излучения устанавливается в диапазоне от 50 до 50000 микросекунд.

В качестве источника излучения используется рентгеновская трубка БСВ17 рентгеновского аппарата ДРОН-2. Напряжение на трубке может устанавливаться в диапазоне от 10 до 45 кВ, ток трубки регулируется в диапазоне от 1 до 14 мА. Интенсивность обратнорассеянного рентгеновского излучения измеряется счетно-вычислительным устройством, состоящим из сцинтилляционного детектора на основе монокристалла NaI(Tl), фотоэлектронного умножителя и усилителя с формирователем счетных импульсов.

Управление сканером, подсчет отраженных импульсов производится посредством микроконтроллера AtMega2560. Передача данных и

команд управления осуществляется по USB-2 интерфейсу. Изображение объекта формируется по заданному алгоритму и выводится на экран монитора компьютера. Программное обеспечение разработано на базе Си/C++.



1 – объект, 2 – источник рентгеновского излучения, 3 – сканирующее устройство, 4- сцинтилляционный детектор

Рисунок 1 – Фотография макета стенда

Для проведения исследований с обратнорассеянным рентгеновским излучением собран макет стенда, фотография которого показана на рисунке 1, структурная схема показана на рисунке 2.

С использованием макета получены изображения металлической пластины и набора графитовых стержней (рисунок 3), то есть объектов из материалов, различающихся порядковым номером. Такой выбор обусловлен тем, что интенсивность обратнорассеянного излучения зависит от порядкового номера материала объекта: рентгеновские лучи сильнее рассеиваются на объектах с малым порядковым номером.

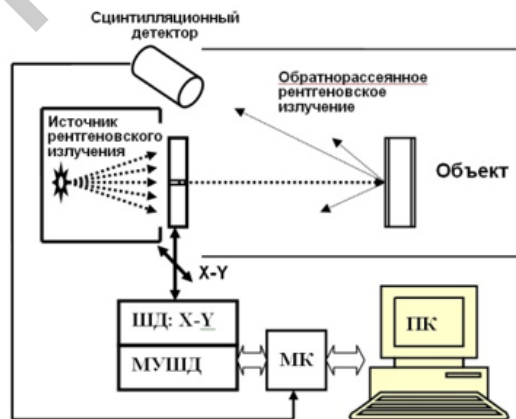
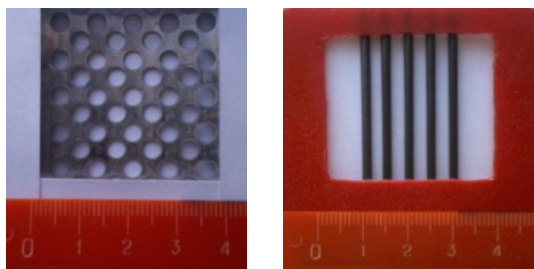


Рисунок 2 – Структурная схема стенда

Сканирование исследуемых объектов рентгеновским лучем проводилось в режиме on-line. Напряжение на рентгеновской трубке выбрано равным 45 кВ, ток - 1 мА. Диаметр отверстия коллиматора - 1 мм. Образцы размещались на расстоянии 200 мм от источника рентгеновского излучения. Поле сканирования составляло 100x130 точек. Изображение объекта формировалось по заданному алгоритму и выводилось на экран монитора компьютера. Время получения изображения образца составляло порядка 20 секунд.



а) б)

Рисунок 3 – Фотографии металлической пластины (а) и решетки из графитовых стержней (б)

На рисунках 4 и 5 показаны соответственно изображения стальной пластины с отверстиями и решетки из графитовых стержней при их сканировании рентгеновским пучком.



Рисунок 4 – Изображение металлической пластины с отверстиями в обратнорассеянном рентгеновском излучении



Рисунок 5 – Изображение графитовых стержней в обратнорассеянном рентгеновском излучении

Проведенные исследования показали перспективность использования сканирующих систем для получения изображения объектов в обратно рассеянных рентгеновских лучах. Увеличение напряжения на рентгеновской трубке позволяет просвечивать объекты большей толщины, что важно для досмотровых систем.

**Благодарности.** Работа частично поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, проект Ф16Р-070.

1. В.А. Забродский. Применение обратно-рассеянного рентгеновского излучения в промышленности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
2. Сканер для получения изображения объектов в обратнорассеянных рентгеновских лучах [Текст]/ Ю.И. Дудчик, Г.И. Хилько, П.В. Кучинский, А.Н. Новик, М.И. Новик, И.В. Белый, Крעותень О.В. // Материалы девятой Международной научно-технической конференции Приборостроение-2016 – Минск, БНТУ, 2017. – С. 50–51.

УДК 620.18:621.7-4

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗВУКОВОСПРОИЗВОДЯЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Бобрикович А.А., Гусев О.К., Воробей Р.И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Представленный метод контроля качества основан на способности эксперта разделять на компоненты всю совокупность ощущений, возникающих при прослушивании звуковоспроизводящей аппаратуры, и оценивать качество звучания по каждому из них отдельно, а также вклад каждого из этих компонентов в обобщенную оценку качества. Это вызывает необходимость точного определения исследователем каждого признака качества в процессе проведения экспертизы и возможность его отчетливого выделения при прослушивании.

В ходе проведения контроля качества эксперту в случайной последовательности предоставляют для оценки монофонический аудиосигнал и двухканальный стереофонический аудиосигнал. Согласно процессу экспертизы каждый эксперт должен выявить различия сигналов [1]. Для интерпретации своих ощущений эксперты используют 7 групп признаков оценки качества звучания: ширина звуковой картины;

объёмность звучания; прозрачность, четкость, раздельность звучания различных инструментов и голосов; передача низкочастотного диапазона; заметность различных шумов и помех. В таблице 1 приведены некоторые из признаков качества стереофонического звучания.

Таблица 1. Признаки качества стереофонического звучания

Признак качества	Номер группы, $i$	Частотность употребления	
		$A_i$	$B_i$
Ширина звуковой картины	1	0.25	0.32
Заметность шумов и помех	2	0.2	0.03
Передача низкочастотного диапазона	3	0.48	0.39

Кроме самих групп признаков качества, важное значение имеют частотности их употребления. В таблице 1 величины  $A_i$  и  $B_i$  оценивают