



УДК 681.7.068: 620.179 – 681.518.3

Поступила 05.11.2013

*Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси, А. П. МАРКОВ, Белорусско-Российский университет,  
О. Ю. БОНДАРЕВ, Е. М. ПАТУК, ИТМ НАН Беларуси,  
С. С. СЕРГЕЕВ, Белорусско-Российский университет*

## СТРУКТУРА АДАПТИВНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТЛИВОК И ПРОКАТА

*Рассматриваются особенности сканирования дефектных зон поверхностей, ориентированных на оптическую визуализацию аномальных отклонений.*

*The peculiarities of the defective zones surfaces scanning, focused on optical visualization of abnormal fluctuations are considered.*

**Введение.** Информационно-алгоритмические особенности дефектоскопии отливок и проката обуславливают некоторую специфику структуры операционных преобразований в ориентированном взаимодействии воздействующих и информативных излучений с поверхностью и светоприемником. При этом спектрально-энергетические воздействия и преобразования определены пространственно-временными параметрами информационного процесса и объекта. В их структуризации преимущественно учитываются взаимозависимости физических признаков и информативных параметров на всех этапах пооперационных взаимодействий.

Эффективная реализация информационно-энергетических преобразований как на уровне физических эффектов проявления и выявления дефектных мест, так и трансформации информативных излучений и их первичных отображений представляет особый интерес.

Непрерывное совершенствование информационно-преобразовательных структур и технологий связано с адаптацией излучателей и приемников к особенностям поверхностей и излучений. Структура адаптивной системы, обеспечивающей повышенную чувствительность и выявляемость физических признаков формирующихся неоднородностей, проявляется при взаимодействии внешнего излучателя и фотоприемника информативных излучений.

В структуре адаптивного сканирования элементарно разграничивается весь процесс спектрально-энергетической визуализации первичных

отображений. Для имеющихся различий объектов, видов, параметров и причин их возникновения эффекты спектрально-энергетического взаимодействия излучений и деградирующих зон поверхности проявляются схожими с первичными отображениями. Такое сходство моделирования объединяет многообразие структур в системе информационных преобразований и идентификации абстрактных изображений. Эта особенность имеет место при поиске, проявлении, выявлении и трансформации информативных излучений. Физические закономерности спектрально-энергетического взаимодействия обуславливают информационно-энергетические эффекты проявления деградирующих мест поверхности. Поиск, прием и трансформация информативных излучений в совокупности обуславливают более эффективную структуру адаптивного сканирования поверхностей в интер- и интроскопии отливок и проката.

**Изменчивость поверхности и поверхностные неоднородности.** Образование и развитие дефектных зон связано с появлением и проявлением поверхностной неоднородности как нарушением метастабильного состояния материала. Изменчивость первоначально однородной поверхности ограничивает ресурс работы и долговечность изделий и их конструкций. В визуальном проявлении таких неоднородностей наблюдатель получает как бы фотографическое отображение участка реальной поверхности в пространственно-временных параметрах геометрического тела. При этом выявляются и отображаются аномальные неоднородности оптических свойств, адаптированных

для визуального восприятия. Ориентированный поиск аномальных неоднородностей строится на пространственно-временном сканировании и выявлении «подозрительных» участков поверхности с одновременной обработкой изображений.

Значительную эффективность обеспечивают структуры с остро направленной ориентацией воздействующего и адаптивного приема информативного излучения. Принцип «адаптация-ориентация» учитывает специфику неоднородной поверхности (снаружи или внутри, плоская или профильная и другие отличия) и характер распределения неоднородностей в пространственно-временных координатах формируемой информации.

Выбор структуры по критерию максимальной выявляемости деградирующих участков обуславливает пространственно-ориентированное сканирование поверхности. При этом учитывается взаимное расположение излучателя, элементов поверхности и детекторов спектрально-энергетического излучения. Экстремальное расположение неоднородной зоны поверхности при кратковременном воздействии в противоположных границах (max и min) обнаруживается с большей вероятностью, что способствует повышению достоверности и производительности дефектоскопии различных изделий. Максимум принятого критерия эффективности по выявляемости неоднородностей определяет более рациональную структуру для конкретного информационного поля и геометрического тела.

В структурах адаптивного сканирования всесторонне учитываются физико-технические особенности визуализации оптических изображений различных отображений. Такие структуры являются более комфортными, эргономически и биологически адаптированными к зрительному восприятию и профессиональной обработке наблюдателем.

В адаптивных структурах в большей мере используются преимущества способов и средств оптической визуализации неоднородностей в их относительном спектрально-энергетическом проявлении. Путем относительных сравнений изображений воспринимаемых неоднородностей, их размеров, форм, профилей, цветности, интенсивностей и других признаков адаптивное сканирование позволяет приблизить первичное отображение в места его обработки для считывания и идентификации дефекта. В оптических изображениях информативные излучения в пространстве физических признаков неоднородной поверхности формируют более информативный портрет первичного отображения. При этом сканирование неоднородностей по множеству точек, составляющих пространственную структуру, объективно отражает

пространственно-временную изменчивость самой поверхности. Однако адаптивное сканирование существенно ограничено возможностями передачи информации по прямым и обратным связям. Для таких операций особую значимость в условиях эксплуатации объекта приобретает среда.

**Способы и схемы реализации.** В адаптивных структурах системно объединяются преимущества традиционных оптико-механических методов и технологий волоконной оптики. Быстродействие и коммуникабельность таких структур визуализации неоднородностей дополняются преимуществами пространственно-ориентированного поиска, селективного приема и дистанцирования первичной информации. Информационно-преобразовательный синтез оптико-волоконных структур сканирования обеспечивает системную адаптацию к условиям и задачам информационного процесса, к самому изделию с учетом эксплуатационных, конструктивных, технологических и метрологических требований режима работы изделия и особенностей среды [1].

Любое преобразование энергии и информации связано со средой, которая в большей части оказывает дестабилизирующее воздействие (температура и влажность, излучения посторонних источников, пыль и др.). Присутствие среды имеет место как в прямых и обратных связях с объектом, так и в локальных связях схемных реализаций структур адаптивного сканирования.

Для таких структур особенно характерно управляемое распределение энергии и информации. В пространственно-ориентированной трансформации информационных потоков более эффективно согласованное взаимодействие излучателей, объекта и приемника. При этом учитывается характер распределения этих потоков не только по всей структуре, но и в некотором геометрическом пространстве излучателя и объекта. Такая особенность непременно учитывается при выборе способов и эффектов управляемого взаимодействия излучения и среды.

Эффективность спектрально-энергетического управления обусловлена его параметрическим разнообразием: изменением пространственных координат, смещением и расщеплением энергетических потоков, регулировкой и перестройкой в широком спектральном диапазоне. Уникальными возможностями в спектрально-энергетическом управлении потоками больших массивов информации отличаются оптически прозрачные среды и волоконно-оптические элементы.

Спектрально-энергетическое управление лучистыми потоками строится на прямых и косвенных

методах. При прямом управлении излучателем спектр и энергия регулируются непосредственным воздействием на генератор (источник) излучения.

В косвенных методах регулирование спектра осуществляется путем преобразования фазовой модуляции в частотную; смешивания колебаний диапазонного излучателя и излучателя стабильной частоты, а затем выделения спектров с разными (либо суммарной) частотами; умножение частоты, когда умножается не только средняя частота спектра диапазонного излучателя, но и девиация частоты.

С помощью таких операционных преобразований совершенствуются способы и средства спектрального управления излучениями. Согласованное спектрально-энергетическое управление улучшает диапазонные, селективные и усилительные качества.

Канализованная и помехозащищенная световодная связь излучателя и приемника позволяет схематически разделять и распределять по уровням весь информационно-преобразовательный процесс сканирования. Такое преимущество особенно значимо в условиях температурных воздействий, вибраций, пространственной ограниченности и трудодоступности.

Волоконно-оптическое сканирование в совокупности с электромеханическими и оптико-электронными средствами создает дополнительные преимущества по ориентации, локализации и дистанцированию первичных отображений. В таких структурах при некотором схематическом усложнении повышаются эффективность и производительность за счет совмещения операций по одновременному преобразованию и передаче информативных излучений с пространственно-временным распределением операций по всему информационному каналу.

Формализация структурно-информационных преобразований в адаптивном сканировании расширяет возможности технических средств при сравнительно небольших материальных затратах. Формализованное отображение отдельных операций и всего процесса преобразований информации (от материального объекта до его абстрактного представления у получателя) позволяет выявить его узкие места и интерпретировать результаты с характеристиками, превышающими предельно достижимые для реальных систем. При таком функционально-экономическом подходе структуризация адаптивной системы преобразования информации формализуется как математико-техническая задача с экономико-управленческими критериями.

Трансформация истинного пространственно-временного состояния поверхности в его формализо-

ванное отображение у получателя проходит цепь взаимосвязанных параметрических преобразований. Но если есть зависимость пространственно-временных параметров каждой точки поверхности и соответствующих сигналов (информационного поля), то математическая задача преобразований сводится к задаче редукции адаптивной системы с ее абстрактными моделями.

В структурах адаптивного сканирования моделирование информационно-преобразовательного процесса непосредственно связано с информативным излучением первичного отображения. В нем в виде лучистого потока  $\Phi_{\lambda i}$  проявляется характер взаимодействия воздействующего потока  $\Phi_{\lambda 0}$  с поверхностной неоднородностью. Всякая неоднородность в нормированной поверхности формирует информационное поле как первичную реакцию изменчивой поверхности на воздействующее излучение. Изменчивая поверхность характеризуется наличием  $N_3$  эффективных неоднородностей. Если коэффициент отображения  $\sigma(r_3, \lambda)$  информативного излучения с длиной волны  $\lambda$  и эффективным радиусом  $r_3$  характеризует неоднородную поверхность, то функция распределения  $f(r_3)$  учитывает геометрию и пространственно-временное распределение неоднородностей и представляется в виде выражения:

$$N_i dr_3 = N_3 f(r_3) dr_3.$$

Здесь  $N_3$  учитывает эффективное число элементарных неоднородностей, имеющих размеры от  $r$  до  $r_3 + dr_3$ , а  $N_i$  – информативное число неоднородностей.

В адаптивном сканировании особую значимость приобретает согласованное взаимодействие системно объединенных функциональных элементов в единой структуре преобразовательных операций. В процессе трансформации информативных излучений существенно сказывается дестабилизирующее влияние среды преобразований и передачи. При этом определяющей является методическая погрешность выделения и формирования информативного излучения.

При согласованном взаимодействии излучателя и приемника в ходе сканирования в поле зрения попадают элементарные неоднородности и формируется оптический сигнал  $\Delta\Phi(t)$ . Применительно к адаптивному сканированию длительность такого импульса определяется зависимостью  $t_i = l b f v_i$ . Здесь  $f$ ,  $b$  – соответственно фокусное расстояние линейного приемника и размер отверстия приемника.

Особую сложность в адаптивном сканировании представляют труднодоступные поверхности протяженных и сложнопрофильных крупногабарит-

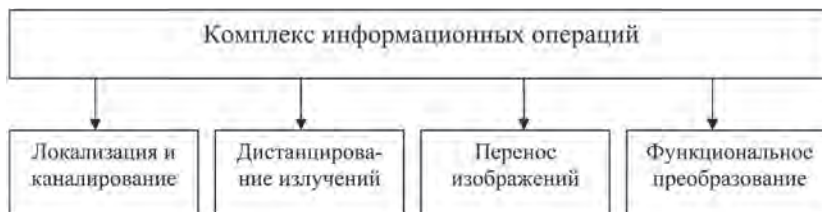


Рис. 1. Структура операционных преобразований в комбинированной дефектоскопии



Рис. 2. Структура первичных преобразований в системе адаптивного сканирования с локальными связями: ⇔ – оптические; → – электрические; --- – механические

ных и длинномерных изделий. Изменяющийся рельеф поверхности, различие форм и размеров поперечных сечений создают дополнительные сложности в структуризации информационно-физических преобразований. Но в любом случае структура сканирования должна быть адаптирована к реальным условиям. Возможности современных способов с видеокроулепами ограничены информационно-физическими эффектами оптических, электронных и электромеханических структур [2].

Совокупность информационных операций в комплексе информационно-физических преобразований представляет систему элементарных действий по согласованной трансформации излучений и сигналов (рис. 1). При этом наряду с локализацией, каналированием и дистанцированием излучений важное значение приобретают перенос изображений и функциональное преобразование.

Операции восприятия, локализации и каналирования требуют спектрально-энергетического согласования переносимого изображения и излучателя.

В такой структуре эффективно сканирование с гибким и направленно согласованным взаимо-

действием излучателя и элементом поверхности (рис. 2).

Сформированное излучение источника через излучатель направленно воздействует на поверхность. За счет механизма продвижения привод сканера снимает формируемое изображение, в котором проявляется реакция неоднородности на воздействующее излучение. Посредством коммутатора элементы изображения передаются в информационно-преобразовательный канал. Выходные сигналы этого канала согласовываются с входами блока спектрально-энергетической обработки, в котором проводится программно-алгоритмическая обработка изображений и выдается результат в требуемом виде, удобном для визуального восприятия дефектоскопистом.

В отдельных случаях могут быть реализованы упрощенные схемы сканирования в соответствии с поставленной задачей дефектоскопии и алгоритмом обработки. Эти цели в большей мере соответствуют структуре адаптивного сканирования, обеспечивающей соответствующую эффективность и повышенную выявляемость неоднородных зон дефектоскопируемой поверхности.

### Литература

1. Схемотехника волоконно-оптических приборов в неразрушающем контроле / А. П. Марков и др.; под ред. А. И. Потапова. СПб: Изд-во СЗТУ, 1982.
2. Оптико-волоконное скопирование в литье и металлургии / А. П. Марков и др.; под общ. ред. Е. И. Маруковича. Минск: Беларуская навука, 2010.