



The ways and means of combined remote inter- and introscopy of extensive articles surfaces taking into account informational-transforming possibilities of the modern optoelectronics, microprocessor technique and optical-fibrous technologies are analyzed.

*Е. И. МАРУКОВИЧ, Е. М. ПАТУК, ИТМ НАН Беларуси, О. Ю. БОНДАРЕВ, ПА «МЕГА»,
А. И. ПОТАПОВ, СЗТУ, А. П. МАРКОВ, ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,
А. Г. СТАРОВОЙТОВ, РУП «Могилевэнерго»*

УДК 620.179.118.5

ДИСТАНЦИОННАЯ ДЕФЕКТΟΣКОПИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Введение. Протяженные изделия как объекты дефектоскопии отличаются многообразием номенклатуры, материалоемкостью и габаритностью, а также значительным превышением длины над поперечным сечением. Ресурс работы, эксплуатационная надежность и долговечность разнообразных конструкций и сочетаний элементов в большей мере определяются качеством изготовления, обработки, сборки и условиями окружающей среды. Конструктивное несовершенство, неравнопрочность материалов и неоднородность их структуры, нарушения режимов и многофакторные дестабилизирующие влияния сказываются на фактическом состоянии и характеристиках, особенно эксплуатируемых протяженных изделий. Дефектоскопия как совокупность методов и средств неразрушающего контроля ориентируется на своевременное обнаружение поверхностных неоднородностей и нарушений сплошности геометрического тела. Если магнитная дефектоскопия строится на восприятии искажений формируемого магнитного поля, то электрическая дефектоскопия связана с регистрацией изменений параметров электрического поля. В отличие от магнитной дефектоскопии, где для индикации отклонений используются магниточувствительные приемники, в электрической дефектоскопии используются методы, основанные на изменении емкости, индуктивности, параметров электростатического поля, сопротивлений и других эффектов [1–4].

Вихретоковая и радиационная дефектоскопия формируют и анализируют поле вихревых токов и поле от взаимодействия электромагнитного излучения радиоволнового диапазона с участком поверхности.

Диапазон частот, используемых для возбуждения или возникновения изменений при появлении

дефекта в акустической дефектоскопии, определен в пределах 50 Гц – 50 МГц. При этом для выявления контрастных зон применяются пьезоэлектрические, электромагнитно-акустические и магнито-стрикционные преобразователи.

На проникновении веществ в полости дефектных зон поверхностей строится дефектоскопия капиллярная и проникающими веществами. Используемые при этом пенетранты контрастируют в зонах поверхностных нарушений сплошности и регистрируются в видимом спектре излучений. Оптическая дефектоскопия основана на анализе взаимодействия излучения видимого диапазона с участком поверхности, в месте которого формируется оптический контраст. С помощью специальных способов и средств оптическое излучение ориентированно воздействует на неоднородность поверхности и отраженное информативное излучение дистанцируется получателю [4–7].

Номенклатура средств дефектоскопии определяется как способами визуализации, материалами изделий, так и видами поверхностей. С учетом этого существенно различаются способы и структуры интер- и интроскопии [8].

Способы и средства индивидуальной дефектоскопии приблизились к своим пороговым возможностям, когда на основе характерных физических эффектов и признаков достоверно оценить состояние поверхности весьма проблематично. В комплексной дефектоскопии комбинируются структуры информационно-физических преобразований с использованием преимуществ одних методов и с учетом ограничений других.

В любом случае в совершенствовании способов и средств дистанционной дефектоскопии объединяется весь комплекс информационно-технологических взаимосвязей и взаимозависимостей

в пространственно-временных преобразованиях технологических признаков деградирующего участка поверхности в абстрактные носители информации.

Визуализация изображений в интер- и интроскопии. Исключительные возможности зрительного восприятия спектрально-окрашенных изображений контрастных участков поверхности создают определенные преимущества комбинированным способам и средствам оптико-электронной дистанционной дефектоскопии. За счет смешения энергий различных по спектру излучений возможны сочетания большого многообразия цветов и оттенков, максимально адаптированных к светоприемникам и зрительному восприятию.

Состояние и свойства реальной поверхности отличаются множеством пространственных элементов (координат) структурно неоднородного поля, в котором отражается его физическая сущность. На зарождающихся неоднородностях информационного поля концентрируются поверхностные нарушения сплошности, обуславливающие появление потенциально возможных экстремальных, в том числе и аварийных ситуаций. В них проявляются многофакторные причинно-следственные связи изменений микро- и макроструктуры материала и геометрического тела. Случайный характер пространственно-временного распределения таких изменений усложняет их прогнозирование, а также процессы интер- и интроскопии. Нормирование ресурса наработки по статистическим данным не дает достоверного эффекта, так как вполне годное по состоянию изделие может быть отнесено по срокам к негодному.

Наличие первичной информации позволяет оценивать пространственно-временную изменчивость конфигурации и геометрических параметров поверхности. Сложности выявления и обнаружения таких изменений связаны с ограниченными возможностями способов и средств дефектоскопии и особенно интроскопии. Комбинированные технологии визуализаций участков поверхности и создают предпосылки для более эффективной реализации информационно-преобразовательных операций всего процесса дефектоскопии. Всякие неоднородности как источники информации о поверхности различаются природой, в которой отображаются случайные аномальные отклонения, их конструктивные и технологические взаимосвязи. Путем отображений в некоторой мере устанавливается причинно-следственное соответствие между источником информации и неоднородностью поверхности.

Для системно согласованного информационно-преобразовательного процесса локализованная ин-

формация первичного источника приводится к требуемому виду и параметрам, доступным для каждого функционального элемента системы визуализации. Достоверная первичная информация о состоянии поверхности особенно необходима для гарантированной контролеспособности эксплуатируемых изделий. Наличие такой информации создает предпосылки для надежной и оптимальной эксплуатации изделий по реальному состоянию с более эффективным и рациональным использованием средств, энергии и оборудования, а также сбережению материальных ценностей, здоровья и жизни людей.

Визуализация изображений от реальной поверхности до их абстрактного отображения связана с изысканием оптимальных способов и схем структурно-алгоритмических преобразований и физических сред. Современные высокочрезвычайно дорогие технологии дистанционной дефектоскопии приблизились к своим предельным возможностям. К технологическим и методическим противоречиям добавляются противоречия информационного характера: всевозрастающие потребности в восприятии и транспортировке огромных объемов информации и фундаментальные свойства физических эффектов и процессов, используемых для реализации помехозащищенных информационных каналов.

Развитие и совершенствование информационно-физических методов визуализации ориентируется на такие направления, как комбинирование информационно-физических основ преобразовательных процессов визуализации; схемотехнические манипуляции функциональных структур и системных элементов; создание унифицированных преобразователей и модулей, объединенных в единой системе визуализации [9, 10].

Системно объединяются эти направления в современных способах комплексной дистанционной дефектоскопии.

Комплексные системы дистанционной дефектоскопии поверхностей. Для таких структур характерно значительное удаление наблюдаемой поверхности от наблюдателя. При этом наряду с высокочувствительным приемом информации от источника излучения, генерируемого участком поверхности, требуется повышенная достоверность и пооперационная мобильность в реализации приемопередающих функций каждым элементом системы.

В комплексных системах дистанционной дефектоскопии для первичных преобразований преимущественно используются эффекты, в которых с максимальной информативностью проявляются

конструктивно-технологические признаки зарождающихся отклонений в пространственно-временных координатах поверхности геометрического тела. При комплексном использовании различных методов дефектоскопии наилучшим образом решаются задачи оценки состояния обследуемых наружных и внутренних поверхностей.

На комбинированных методах физической проявляемости, ассоциативности и селективности создаются структурно-алгоритмические реализации высокочувствительных способов дефектоскопии с оптимальным поиском, ориентированным обзором и достоверным обнаружением контрастных зон. Различные стратегии и технологии ориентированного поиска обеспечивают максимальный учет априорных сведений о статически прогнозируемых неоднородностях и их пространственном сосредоточении. Наряду с проявлением статистических особенностей существенное значение имеет природа конструктивно-технологических неоднородностей поверхности геометрического тела. Следствием технологических неоднородностей и связанными с ними вероятных дефектов являются усталость металла, изношенность отдельных участков, коррозия, влияние окружающей среды, нарушения нормированных условий эксплуатации. Все эти и другие факторы оказывают влияние на схмотехнические и ассоциативные возможности комбинирования способов дистанционной интер- и интроскопии поверхностей.

Физико-оптические способы оптимального поиска источников в информативном пространстве зон со случайным распределением контрастных зон обеспечивают ряд преимуществ в восприятии, трансформации и дальнейшей обработке информации в момент ее возникновения. С учетом этого создается возможность структурно-алгоритмической реализации дефектоскопии в адаптивных оптико-электронных средствах, обладающих повышенной чувствительностью, быстродействием и пропускной способностью.

Комбинирование способов и средств дефектоскопии на основе достижений оптоэлектроники и волоконной оптики, микропроцессорной техники и нанотехнологий, миниатюрных сенсоров и функциональных преобразователей в большей мере соответствует условиям комплексной автоматизации и технологического контроля в реальном времени. Здесь особую значимость приобретают способы редукации и многорежимного поиска с переключением траекторий, методы рационального, в том числе оптимального просмотра признакового пространства при сборе информации, а также современные технологии ее передачи и обработки.

В современной комплексной оптико-электронной дефектоскопии научно-технической базой комбинирования способов являются:

- новейшие методические приемы и принципы проявления и обнаружения локальных отклонений поверхности и их источников первичной информации;
- оптимальные алгоритмы и структуры формирования и дистанцирования первичной информации;
- рациональные схемы каналирования, направления, распределения информативных излучений;
- унифицированные модули и блоки, системно реализующие эти принципы.

Оптимальный поиск и обнаружение источников информации в двух- и трехмерном пространстве, высокое быстродействие и помехозащищенность визуализации абстрактных изображений, слежение и дистанцирование приемников относительно наружных и внутренних поверхностей, различные одномерные и многомерные преобразования изображений – все это создает монополию физико-оптической дистанционной дефектоскопии. Возможность спектрально-энергетического регулирования и дистанционного управления излучателями и приемниками информативных излучений, эффекты их «окрашивания» создают дополнительные преимущества оптико-волоконной дефектоскопии поверхностей [8, 12–15].

В системах трансформации информативных излучений только часть элементов первичного отображения несет в себе всю полезную информацию. Селективный отбор при этом позволяет разгрузить канал от заведомо не нужной информации. Однако отделение этой части в информативном изображении представляет некоторые сложности в последующей обработке и идентификации неоднородностей в соответствии с установленными градациями в принятой классификации.

В обзорно-поисковых системах дефектоскопии наряду с выявлением проявляемых контрастных зон необходимо установить и зафиксировать координату и характерные признаки обнаруженных отклонений. В комбинированной дефектоскопии протяженных поверхностей оптимизация стратегии поиска, обзора и распознавания реализуется с помощью электромеханических и оптико-электронных средств скопирования и стробирования в пространственно-временных координатах протяженной поверхности. Использование современных сенсоров, излучателей, дефлекторов и другой информационно-преобразовательной техники позволяет комплексно решать задачи нерегулярных просмотров и мониторинга информационных по-

лей, выявлять неоднородности и экстремальные отклонения в контрастных зонах с не меньшей вероятностью, чем при регулярном просмотре и за меньший промежуток времени.

Способы формирования и трансформации информативных излучений в дистанционной дефектоскопии поверхностей. В дистанционной дефектоскопии для оперативной оценки состояния поверхности мало иметь исходную нормативно-технологическую информацию. Необходима и своевременно получаемая текущая информация о локальных взаимосвязанных воздействиях по всей цепи информационно-физических преобразований, чтобы упреждать и управлять зарождающимися неоднородностями (компенсировать, корректировать, регулировать и т. д.).

Способами функционально-экономической оптимизации структурных преобразований унифицируются возможности дистанционной дефектоскопии при сравнительно небольших материальных затратах. Формализованное отображение операций и всего процесса трансформации информативных излучений позволяет выявить узкие места и противоречия между задачами и возможностями отдельных методов и средств. Это способствует рациональной интерпретации результатов с характеристиками, превышающими предельно достижимые для отдельных видов и средств неразрушающего контроля. В такой структурно-алгоритмической комбинации оптимизация трансформации информативных излучений с визуализацией изображений контрастных мест поверхности формируется как математико-техническая задача с информационно-экономическими критериями.

Однако любое формализованное представление информационно-преобразовательного процесса трансформации излучений приближенно отражает сущность реального процесса. В математической модели с некоторой достоверностью учитывается все разнообразие информативных и дестабилизирующих факторов. Комбинированные структуры дистанционной дефектоскопии позволяют дифференцированно учесть влияние отдельных методов и скорректировать информационно-метрологические ограничения их на искажения визуализированных изображений поверхности.

При некотором различии в физических основах и принципах различные виды и способы дефектоскопии строятся на общих структурах формирования и информационно-физических преобразований первичной информации. В ней совокупно проявляется эффект взаимозависимости материально-технических и информационно-физических свойств и параметров поверхности. Перво-

причиной формирования источника первичной информации выступает зарождающаяся неоднородность, в которой закодированы аномальные отклонения и скрытые дефекты поверхности. По существу способами и технологиями дефектоскопии объединяются методы, модели и структуры визуализации неоднородностей участков и зон, скрытых от непосредственного рассмотрения наблюдателем.

В нормативной документации представлена исходная информация о материалах, их свойствах, условиях и режимах эксплуатации и другие данные. Но особый интерес представляют причинно-следственные связи отклонений и дефектов, пути их своевременного предотвращения, способы выявления и устранения. Технологическая предрасположенность неоднородностей поверхностей позволяет прогнозировать и вести ориентированный поиск и направленно выявлять зоны аномальных отклонений. Информационная выявляемость, связанная с проявляемостью неоднородностей, определяет структуру информационно-физических преобразований и весь процесс трансформации излучений, воздействующих по прямой связи и отраженных – по обратной связи. В способах формирования информативных излучений и визуализации неоднородностей определяющую роль играют спектрально-энергетические эффекты взаимодействия излучений с поверхностью. В первичном взаимодействии проявляется вся совокупность изменяющихся свойств, а во вторичных эффектах визуализируется выявляемая неоднородность поверхности. На этой основе реализуется весь комплекс взаимосвязанных операций по технологической проявляемости и информационной выявляемости.

Многообразие излучений и физических эффектов обуславливает разнообразие способов и моделей взаимодействия излучений с поверхностями. В контрастной зоне с аномальными отклонениями зарождаются потенциальные дефекты с характерными пространственно-временными параметрами. При этом особое значение имеет выделение информативного излучения контрастной зоны в реальной помеховой обстановке изделия.

Дистанционная дефектоскопия строится на спектрально-энергетическом позиционировании как воздействующего, так и информативного излучения. В такой структуре комбинированных взаимодействий (рис. 1) системно объединяются операции и устройства с различной физической природой, для чего используются специальные локальные связи.

За счет энергии источника питания спектрально-энергетический формирователь посредством излучателя по прямой связи воздействует на по-

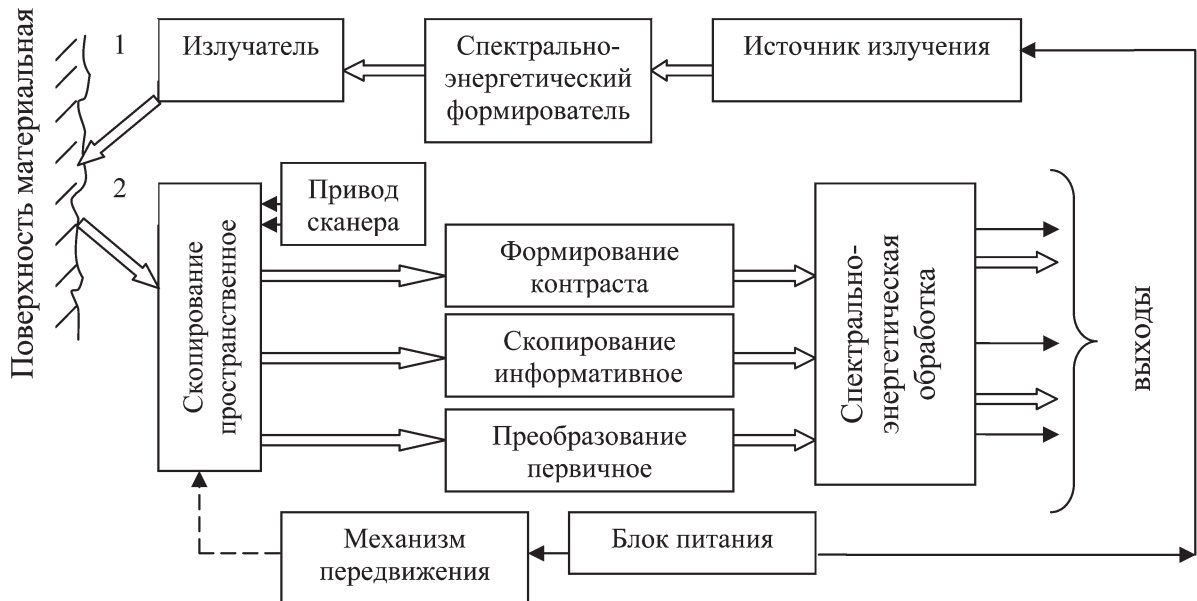


Рис. 1. Структура пооперационных взаимодействий в системе пространственно-временной дефектоскопии с локальными связями: \Rightarrow – оптические, \rightarrow – механические, \leftarrow – электрические; 1 – связь прямая; 2 – связь обратная

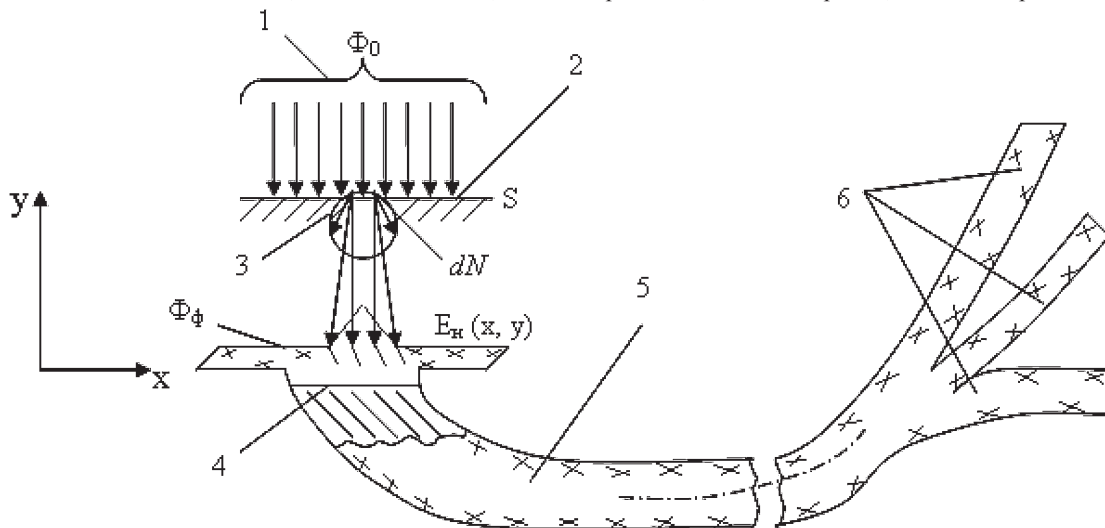


Рис. 2. Модель взаимодействия излучения 1 с отражающей поверхностью 2; 3 – неоднородность; 4 – приемник изображения, 5 – локальная связь через коллектор; 6 – жгуты светопроводящих волокон

верхность, а по обратной связи осуществляется скопирование изображения контрастного участка. За счет привода обеспечивается синхронное продвижение излучателя и приемника излучения. Через коммутатор элементы лучистого потока от спектрально-энергетического взаимодействия излучения с поверхностью передаются в информационно-преобразовательный канал, выходы которого связаны с блоком спектрально-энергетической обработки. В нем осуществляется программно-алгоритмический анализ информативного изображения выявленного контрастного участка с хранением, документированием и представлением результатов для визуального восприятия (рис. 2).

Все многообразие способов и средств дефектоскопии ориентировано на своевременное обнаружение отклонений в пространственно-временных

параметрах поверхности изделия. Всякое «не нормированное» отклонение выявляется по эталонным параметрам, которые представляются в виде образцовой поверхности. В ней обобщена вся совокупность материальных, конструктивных, метрологических, эксплуатационных и других специфических требований. Абстрактным отображением этой совокупности является некоторая область в пространственно-временных координатах изделия, обеспечивающих нормируемые показатели качественного изделия. Однако задание формализованных требований в виде образца при автоматизированном «сличении» эталона и участка поверхности представляет значительные сложности, особенно в их согласованном преобразовании.

Трансформация отображаемых поверхностью излучений через «информационный контакт» из-

лучателя связана с повышенными требованиями к первичным преобразователям, которые должны быть оптимально адаптированы к изделию, условиям эксплуатации и окружающей среде. Если аналоговые преобразователи характеризуются повышенной чувствительностью, то в структуре информационно-преобразовательного канала передачи и обработки предпочтение отдается дискретным способам. Если аналоговый сигнал обеспечивает высокочувствительный прием, дискретный – помехозащищенное преобразование, то цифровое – стабильную транспортировку и комфортное считывание. Переход аналога через дискрет к цифровому отображению связан со значительными потерями энергии и информации. Оптимальная структура трансформации излучений – аналоговый датчик с цифровым выходом.

Практически трансформация первичной информации от источника до потребителя представляет сложную цепь преобразований с разноуровневым пространственно-временным распределением и блочно-модульным сосредоточением информационных операций. В одних способах дефектоскопии этот процесс проходит быстрее и эффективнее, в других – длиннее и затратнее. Переход к комплексной дефектоскопии позволяет в некоторой мере оптимизировать этот процесс по последовательно приближенным критериям. В такой структуре трансформации идентификатор в программной обработке классифицирует неоднородность контрастного участка поверхности с отнесением информативного излучения к конкретной группе, виду и отображению абстрактного дефекта.

Особенности моделирования и визуализации в комплексной дефектоскопии поверхностей. Модели информационно-физических преобразований признаков отклонений и неоднородностей непосредственно связаны со спектрально-энергетическим взаимодействием ориентированного излучателя и селективного приемника. Оценка неоднородности по множеству точек, составляющих их пространственно-структурное поле, обеспечивает объективное отображение информационно-физических процессов и операций и их пространственно-временную связь. Текущие параметры определяют и пространственно-временное состояние участка поверхности с динамичным распределением свойств различной физической природы. Спектрально-энергетическое восприятие формируемого у контрастной зоны информационного изображения дает возможность оперативно оценить пространственную и временную изменчивость поверхности.

Взаимосвязь проявляемых неоднородностей и генерируемых ими источников информации опре-

деляет модели и структуру как первичных преобразований, так и всего процесса дефектоскопии. С учетом уровней неопределенности параметров и неоднородностей поверхности адаптируются алгоритмы и структуры способов дефектоскопии, обуславливающих принципы и системность функциональных комбинаций информационно-физических преобразований. Они позволяют применить некоторые традиционные методы и средства для интер- и интроскопии поверхностей с ограниченным доступом. При этом с ростом потоков информации и повышением требований к «гибкости» и помехозащищенности каналов повышается ценность первичной информации, но возрастает объем информационных преобразований по согласованию, дистанцированию и обработке сигналов.

Случайный характер распределения неоднородностей и их параметров обуславливает разнообразие моделей формирования и трансформации информативных изображений $E(x, y)$ неоднородности dN на фоне помех Φ_{ϕ} (рис. 2).

При взаимодействии потока излучения Φ_0 с поверхностью 2 формируется изображение контрастной зоны 3, вид которого определяется индикатрисой рассеяния, учитывающей характер изменения контрастности проявляемой неоднородности dN . Изменение контраста определяется соотношением:

$$\gamma = k_0/k_n,$$

где k_0 – коэффициент контрастности однородной поверхности; k_n – коэффициент контрастности неоднородной зоны dN .

Для элементарной неоднородности с небольшими приращениями координат ($\Delta x \rightarrow 0, \Delta y \rightarrow 0$) выражение γ описывается зависимостью:

$$\gamma = 1 + 2 \frac{E_n(x, y)}{E_n(x, y) + E(x + \Delta x, y + \Delta y)}.$$

Для модулированного информативного источника, когда вся энергия информативного излучения E_n сосредоточена в идеальной точке с координатами (x_0, y_0) , используется распределение яркости B контрастной зоны в виде выражения:

$$B(x, y) = B_0 \delta(x - x_0, y - y_0),$$

где $\delta(x - x_0, y - y_0)$ – двумерная обобщенная функция Дирака.

Информативное излучение неоднородности dN на фоне Φ_{ϕ} воспринимается фотоприемником 4 – торцом световодного коллектора 5, выполняющего функции локальной связи. Выходы коллектора с помощью жгутов оптических волокон 6 ориентируют отдельные составляющие лучистого потока

через оптическую связь на индивидуальные фотоприемники со специально подобранными спектрально-энергетическими характеристиками и конструкциями.

Информативное изображение неоднородности характеризуется амплитудной и фазовой функцией пространственных частот [8, 16]. В них отражаются информационно-физические зависимости количественных и качественных оценок проявляемой неоднородности в некоторой пространственной координате поверхности. При этом основная часть оптического изображения воспринимаемого приемником 4 сосредоточена в информативном излучении $E(x, y)$. Оно представляет совокупность отдельных элементарных отображений всех элементов неоднородности на фоне помех $\Phi_{\text{ф}}$, как источника для информации. В процессе трансформации информация и дезинформация присущи одному и тому же каналу преобразований. Многообразие и случайный характер дестабилизирующих воздействий усложняют как моделирование, так и структурно-алгоритмическую реализацию способов и средств визуализации полей различной физической природы. При этом определяющее значение имеет выявление системных факторов, их корреляционных зависимостей в формировании первичной информации и ее дистанцировании. Случайное пространственно-временное распределение системных факторов, их обусловленность и неопределенность в зависимостях от отдельных условно обособленных параметров и критериев требует достоверной оперативной информации уже на стадии возникновения аномальных отклонений поверхности.

Многообразие моделей и структур преобразований физических эффектов в адекватные источники информации базируется на разнообразии операций формирования и направления информативных излучений, ориентации излучателей и приемников, параметрических соотношениях амплитуд, фаз, частот и других величин, характерных для определенных излучений и видов неразрушающего контроля. Сложности контуров и геометрии поверхности, многоуровневое расположение граней и каналов в теле изделия и другие специфические особенности изделия усложняют структурно-алгоритмическую реализацию комбинированной дефектоскопии. Формирование и обнаружение информативного изображения методами сквозного просвечивания, эхо-методом, теневым и другими методами требует ориентированного воздействия на поверхность с некоторым интервалом времени между воздействием и приемом, что сказывается на динамике и оперативности дефектоскопии.

Существенным ограничением традиционных методов неразрушающего контроля является помехозащищенная среда для локальных связей излучателей, приемников и функциональных элементов, системно объединенных в единой цепи трансформации информативных изображений контрастных зон.

Волоконно-оптические способы и технологии дистанционной дефектоскопии поверхностей. Отличительные возможности расщепления, направления, каналирования и смешения элементарных лучистых потоков с помощью светопроводящих сред открывают перспективу способам и технологиям спектрально-энергетической дефектоскопии на основе волоконной оптики. Воздействие и прием лучистых потоков, отраженных неоднородным участком поверхности, с помощью оптически прозрачных сред позволяет комбинировать более эффективные структуры преобразований и дистанцирования информативных изображений волоконно-оптическими способами. Оптические способы визуализации полей различной физической природы отличаются своей оперативностью, мобильностью и эргономикой. Оптическая информация более привычна человеку, а оптические связи в цепи преобразований обеспечивают идеальную развязку при высокой избирательности и помехозащищенности.

Стремительно развивающаяся база электроники и оптоэлектроники с расширением оптического диапазона излучений способствует и успешному освоению видимого спектра с примыкающими к нему ультрафиолетовой и инфракрасной областями. Оптико-волоконные методы и средства с пространственно-частотной обработкой и модуляцией диаграммы направленности открывают перспективу дальнейшего совершенствования дистанционной дефектоскопии поверхностей. Способами скопирования, сканирования и стробирования обеспечивается эффективная трансформация изображений контрастных мест с их максимальным правдоподобием с реальными.

Спектрально-энергетическое управляемое воздействие на элементарный участок, поиск и локализацию информативных источников, высокая плотность и помехозащищенность и другие преимущества визуализации и дистанцирования оптических изображений из труднодоступных пространств – все это создает монополию комбинированным волоконно-оптическим способам дистанционной дефектоскопии поверхностей. Смещение спектральных излучений монохроматических источников и формирование управляемого спектрально-энергетического излучателя посредством

светопроводящих волокон способствует более чувствительному восприятию спектрально-окрашенных изображений поверхностных неоднородностей. «Гибкость и управляемость» положением излучателя относительно фотоприемника позволяют рационально проводить прямой и боковой обзор с дистанцированием панорамных изображений наблюдателю. Большой объем информации, сосредоточиваемый на ограниченной площади фотоприемника, требует повышенной разрешающей способности всей информационно-преобразовательной системы трансформации оптических

изображений в едином комплексе дистанционной дефектоскопии поверхностей. Детализированное рассмотрение мест вероятного сосредоточения неоднородностей ограничивается как информационно-физическими возможностями индивидуальных методов дефектоскопии, технических средств и методов поиска информативных источников, так и зрительными особенностями наблюдателя. Однако в комбинированной дефектоскопии человеческий фактор в большей мере проявляется в достоверной оценке состояния поверхности по ее абстрактному отображению.

Литература

1. Алешин Н. П. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий: Учеб. для ПТУ / Н. П. Алешин, В. Г. Щербинский. М.: Высш. шк., 1991.
2. Ультразвуковой и рентгеновский контроль отливок / Е. А. Гусев, А. Е. Карпельсон, В. П. Потапов и др. М.: Машиностроение, 1990.
3. Технические средства диагностирования: Справ. / В. В. Клюев, П. Н. Пархоменко, В. Е. Абрамчук; под общ. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1989.
4. Неразрушающий контроль: В 5-ти кн. Кн. 4. Контроль излучениями / Б. Н. Епифанцев и др.; под ред. В. В. Сухорукова. М.: Высш. шк., 1992.
5. Неразрушающий контроль: Справ. В 7-ми т. Т. 6. Оптический контроль / В. Н. Филинов. М.: Машиностроение, 1989.
6. Окоси Т. Волоконно-оптические датчики. Пер. с япон. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.
7. Информационно-физическая подготовка и дистанцирование первичной информации в оптическом контроле / А. И. Потапов, С. С. Сергеев, А. П. Марков, А. В. Конов и др. // Опыт использования в промышленности неразрушающего контроля качества неметаллических изделий, чугуна и композитов: Сб. докл. Всерос. науч.-практ. семинара. СЗТУ, СПб: 2007. С. 179–186.
8. Волоконно-оптическая интроскопия / П. И. Марков, А. А. Кеткович, Д. К. Сагтаров. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987.
9. Методология совершенствования технологического контроля в литейном производстве / Е. И. Марукович, А. П. Марков, В. В. Коннов, А. А. Кеткович // Литье и металлургия. 2007. № 4 (44). С. 96–103.
10. Техника и технологии оптической визуализации внутренних поверхностей / С. С. Сергеев, А. П. Марков, А. В. Иванов и др. // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Сб. науч. тр. Новополоцк: УО «ПГУ», 2008. Вып. 5. С. 123–131.
11. Акаев А. А., Майоров С. Н. Оптические методы обработки информации. М.: Высш. шк., 1988.
12. Волоконная оптика и приборостроение / М. М. Бутусов, С. Л. Галкин, С. П. Орбинский, Б. П. Пал; под общ. ред. М. М. Бутусова. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.
13. Вейнберг В. Б., Саттаров Д. К. Оптика световодов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977.
14. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Е. И. Марукович и [др.]; под общ. ред. Е. И. Маруковича. Мн.: Беларуская навука, 2007.
15. Измерения в промышленности: Справ. изд. В 3-х кн. Кн. 2. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. П. Профоса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1990.
16. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии: Справ. пособ. / С. В. Плетнев, А. И. Потапов, А. П. Марков. СПб.: ЛИТА, 2001.