



СВЕТОВОДНЫЕ СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ



УДК [620.179.1:620.191]:53.082.5

Световодные способы и технологии комбинированной дефектоскопии / А. П. Марков [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Маруковича. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 309 с. – ISBN 978-985-08-1625-2.

Представлены результаты исследований и разработок по неразрушающему контролю на основе структурно-алгоритмических комбинаций операционных преобразований и дистанцирования первичной информации опτικο-волоконными элементами и системами.

На математических и физических моделях и конструкциях преобразователей и мобильных приборов оперативного контроля отражены операционные и функциональные преимущества опτικο-волоконных элементов в комбинированных способах и средствах трансформации технологических признаков зарождающихся дефектов и соответствующих источников информации.

Предназначена для инженеров, технологов, исследователей и испытателей, занимающихся разработкой технологий и новых конструкций в различных отраслях, а также студентов, магистрантов, бакалавров и аспирантов инженерных и приборостроительных специальностей.

Табл. 2. Ил. 30. Библиогр.: 28 назв.

А в т о р ы:

А. П. Марков, Е. И. Марукович, С. С. Сергеев, И. А. Потапов

Р е ц е н з е н т ы:

доктор физико-математических наук, профессор В. И. Борисов,
кандидат технических наук, доцент И. В. Павлов

ISBN 978-985-08-1625-2

© Оформление. РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная дефектоскопия и типовой неразрушающий контроль характеризуются многообразием аппаратных средств, адаптированных к конкретным условиям, производствам и отраслям. Все это разнообразие объединяет единое функциональное предназначение – визуализировать невидимое и недоступное.

Все способы и средства визуализации строятся на физических эффектах проявляемости экстремальных отклонений при их взаимодействии с внешними излучениями.

Классические методы и технологии неразрушающего контроля, составляющие основу современной дефектоскопии, приблизились к пределам своих физических возможностей. И огромные затраты на совершенствование любого индивидуального вида контроля не дают существенного прогресса из-за своей методической ограниченности. Зачастую задача обеспечения контролеспособности производства и потребительского спроса продукции усложняется настолько, что для ряда областей ее решение требует создания сложных специализированных комплексов.

В совершенствующихся технике и технологиях научно-технический прогресс строится на новых методах, средствах и технологиях. Они генерируются путем целенаправленного соединения энергии, материалов и информации в едином комбинированном преобразовательном процессе. При этом если энергия и материалы отвечают на вопрос «из чего?», то информация и технологии дают ответ «как?». В таком комплексном объединении преобразовательных операций создаются новые высокотехнологичные процессы, новые продукты и новые области знания.

Создание новых свойств, форм, конструкций и изделий предопределено новыми технологиями и средствами материально-энергетических и информационных преобразований. При этом поиск исходного материала, выбор конструктивных форм и энергетических воздействий для придания требуемых свойств в заданных пространственно-временных координатах (параметрах) объединяют в системном преобразовании вопросы материаловедения и механики, физики и математики, измерений и метрологии и других областей знаний. В рациональном преобразовании системно объединяются материальные и абстрактные операционные действия, в которых комплексируются элементы различной физической природы и направленности. С помощью одних реализуются целенаправленные программно-алгоритмические, сопутствующие поставленным целям и задачам действия, а в виде других, мешающих, проявляются противодействия, препятствующие достижению этих целей.

Комбинированные преобразования – это не только изменения в пространстве и во времени. В более общем смысле преобразования включают в себе изменение параметров, свойств и расположения отдельных элементов и операций, обеспечивающих соответствующую реакцию на внешние и внутренние локальные воздействия в условиях преобразовательного процесса и окружающей среды. И характер каждого из этих изменений проявляется в координатах отдельной точки в некотором пространстве геометрического тела, параметры и свойства которого определены и нормированы. Наличие такого пространства предполагает существование определенных связей между точками, определяющими его геометрию, формы и размеры.

При наличии такой геометрии всякое изменение отражается в преобразовании этой геометрии. В этом обнаруживается существование связи между изменениями геометрических параметров и свойствами геометрического тела. Всякое изменение геометрических параметров проявляется не только как средство описания свойств поверхностей, но и как информативный признак. Случайный характер зарождения и отражения пространственно-распределенных поверхностных изменений проявляется в виде тех-

нологических отклонений. Но всякое обнаружение поверхностной изменчивости связано с некоторыми физическими величинами, в которых отображаются признаки и свойства реальных поверхностей. И для оценки отклонений геометрических параметров (рельеф, профиль, шероховатость) поверхности применяются физические эффекты и способы, в которых бесспорно (однозначно) отражаются определенные соотношения между физическими величинами и первичными признаками.

Посредством функциональных связей устанавливаются аналитические зависимости между изменчивостью геометрических параметров и одной или несколькими физическими величинами. В таком абстрактном переходе от первичных признаков к физическим величинам отражается информационное единство состояния неоднородной поверхности и ее формализованной модели.

Одновременное зрительное восприятие и зрительная информация обрабатываются параллельно, что позволяет непосредственно получать и запоминать пространственно-ориентированные изменения элементов геометрического тела. То есть зрительное восприятие изменений геометрических параметров позволяет строить последовательный алгоритм преобразований изменений геометрических поверхностей, заменив пространственно-ориентационные отношения между точками на формализованные зависимости между координатами реальной поверхности.

При неразрушающем контроле и дефектоскопии геометрических тел, оперируя формализованными (абстрактными) образами без перехода к вычислительным действиям, более эффективно реализуется трансформация первичной информации об изменчивости поверхности.

Пространственное отображение и пространственное изображение дают абстрактную геометрическую картину взаимного расположения точек, элементов поверхности, их формы и взаимной ориентации в геометрическом теле. Такие операции многоуровневого преобразования, как реакция системы на сигналы об изменении состояния поверхности, связаны со структурой системы мониторинга применительно к целям и окружающей среде.

Академик НАН Беларуси Е. И. Марукович

ВВЕДЕНИЕ

Для современных развивающихся и модернизирующихся производств характерны высокая энерго- и материалоемкость, многообразие номенклатуры и разнообразие ассортимента. Хозяйственно-организационная деятельность, особенно в затратных производствах, предполагает рациональное использование всей совокупности сырьевых ресурсов, энергии и прогрессивных технологий. И в этом сложноуправляемом многооперационном производстве существенно возрастает роль информационно-измерительной информации о реальном состоянии и свойствах на всех стадиях оперативного управления.

В связи с этим совершенствование технологий и производственных процессов, а также усложнение конструкций и эксплуатационных требований, модернизация и реконструкция производств повышают требования к технологическому контролю и операционному аппаратному обеспечению. В современных условиях особый интерес представляет пространственно-временная изменчивость физико-технических свойств и состояний в некотором пространстве признаков, обусловленных нормированным ресурсом работоспособности производимых изделий и оборудования.

Для эффективной эксплуатации и ресурсосбережения с хорошо продуманной системой базовой автоматизации контрольно-измерительных операций лучшую контролируемость и управляемость обеспечивают оперативный контроль и диагностика. В такой стратегии определяющее значение имеет выявление взаимосвязи разнородных воздействий и соответствующей технологической изменчивости, отображаемых в формирующейся первичной инфор-

мации. И здесь особую значимость приобретают системные факторы проявляемых физико-технологических признаков аномальных отклонений и их корреляционных связей с информативными излучениями в пространственно-временных координатах объектов.

Изменчивость состояний и свойств отдельных элементов изделий позволяет оперативно оценивать отклонения их геометрических параметров, отличающихся природой, спецификой структуры и режимами работы. При этом задача дефектоскопии состоит на первичном уровне в описании и выделении аномальных признаков пространственно-распределенных отклонений с последующей идентификацией и классификацией фактического дефекта по информативному источнику.

Дефектоскопия как совокупность способов, средств и технологий неразрушающего контроля предполагает поиск и обнаружение внутренних и поверхностных дефектов материалов и изделий. Часть слова «скопия» означает зрительное восприятие, визуальное изучение, наблюдение. Если интроскопия предполагает наблюдение внутренних поверхностей, то интерскопия – наружных.

Специфика сосредоточения пространственно-распределенных дефектных зон и соответствующих источников информации определяется случайно проявляемыми характерными признаками поверхностной изменчивости. При этом источник первичной информации «модулируется» зарождающимися технологическими отклонениями. Им соответствуют информационные неоднородности с отображением их пространственно-временных координат, свойств и параметров. И естественным критерием оценки информативности источников служит количество сведений, содержащихся в них.

Для удаленных элементов поверхности с труднодоступными зонами и распределенными участками контроля (в статике и динамике) особо важно наличие максимальной информации, получаемой оперативно и своевременно в процессе дефектоскопии. В любом случае информационно-преобразовательные операции дефектоскопии сводятся к получению численных значений спектрально-энергетических параметров информативных излучений. Это относится к оценке параметров как в импульсно- или синусо-

идально-модулированном, так и в аналоговом режиме излучения. Если для источников информации средней и максимальной мощности их выявление связано с ориентацией приемника, то для слабых излучений особо значимо их проявление в реальной помеховой обстановке. И здесь в большей мере существенно распределение мощности как во времени (форма сигнала), так и в пространстве (поверхностная плотность). В таких случаях спектрально-энергетическое взаимодействие источников излучений, среды и материальной поверхности играет определяющую роль.

Формализованное пространственно-временное распределение отдельных операций и разграничение поставленных задач контроля позволяют для отдельно взятых элементов или операций объекта использовать свой математический аппарат и конкретизировать многопараметровые функциональные зависимости с учетом наложенных ограничений. В них учитываются все совокупности выходных и входных переменных, определяемых структурой и конструкцией элементов объекта.

Установить даже имеющиеся разнообразные и многофакторные причинно-следственные связи между признаками отклонений и их пространственно-временным проявлением весьма сложно. И обследование всей совокупности состояний и свойств и их причинно-следственных взаимосвязей не представляется возможным и реализуемым. Однако ряд причин, не поддающихся прогнозированию и учету, в условиях эксплуатации создают экстремальные ситуации, связанные с их критическим состоянием и дальнейшей работоспособностью. Прогнозы пространственно-временного состояния случайно распределенных источников технологической информации из-за отсутствия достаточных статистических сведений о наличии отклонений и отказов далеки от истинного состояния изделия или процесса как объектов контроля.

Статистические способы в оперативном контроле создают возможности ограничивать ресурс использования, скорректировать нормативную базу. Но для этого требуются длительное обследование, испытания, опытная эксплуатация и систематизированный набор статистических данных.

Более эффективно проводить дефектоскопию по морфологическим и генетическим признакам. При этом первичная информация формируется не в абсолютном параметрическом пространстве, а в пространственно-временных отклонениях от установленных допусками норм. Такой методический подход позволяет перейти от абсолютных способов и схем первичных преобразований к относительным и косвенным по отклонениям в некотором признаковом пространстве. И тогда первичная информация проявляемых технологических признаков формируется с появлением аномальных отклонений изменяющейся поверхности.

В общем случае формирование информативных признаков аномального отклонения представляет процесс отображения некоторых свойств с их представлением в виде абстрактного образа, доступного для непосредственного восприятия потребителем.

По существу в процессе дефектоскопии получают новые сведения о состоянии объекта только тогда, когда ее изменчивое параметрическое пространство выходит из некоторых нормативно обусловленных границ. И здесь особо значимо экстремальное состояние в этих границах, обуславливающее критические ситуации в условиях эксплуатации. При нормальном функционировании сам объект «не информируется», а источники информативных сообщений формируются только при появлении аномальных отклонений в некотором параметровом пространстве. Ненормальному состоянию отдельного элемента объекта с физико-техническими параметрами соответствует совокупность сигналов другой физической природы, отображающих абстрактное неоднородное информационное поле. В такой структурной взаимосвязи отклонениям материально-физического объекта соответствует информационно-физическое абстрактное отображение изменчивости его свойств, особенно в экстремальных ситуациях.

Аномальные отклонения с зарождающимися информационно-физическими неоднородностями в динамике приводят к различного рода дефектам. Наличие такой неоднородности, а еще хуже одновременно проявляющейся совокупности неоднородностей приводит к неработоспособному, в худшем случае аварийному, состоянию. И здесь особую значимость приобретают системные

факторы и источники их проявления, которые могут использоваться в системах тестирования и особенно в режиме on line.

В подходе к комплексному решению задач оперативной дефектоскопии исходят главным образом из принципиальных возможностей отдельных индивидуальных методов, системного объединения их преимуществ в трансформации первичных признаков в едином информационно-формализованном процессе.

В подходе к комплексному решению задач дефектоскопии исходят главным образом из возможностей отдельных методов системного объединения их преимуществ в трансформации первичных признаков в едином информационно-формализованном процессе. При этом определяющими являются естественное пространство состояний, унификация и формализация. Здесь особое значение имеют формализованные взаимосвязи между различными факторами и характером изменений под влиянием многофакторных воздействий и разнообразных условий. В их моделях формализации обеспечивается системное взаимодействие всех компонентов, характер их организации и функционирования. В унификации и формализации моделируется не «физическая реальность», а локальная взаимосвязь между отдельными признаками, свойствами и величинами (сигналами).

Структуризация информационно-преобразовательных процессов устанавливает главные взаимосвязи между функциональными элементами, модулями, блоками с переходом к детальному моделированию механизмов и зависимостей функционирования по отдельным эффектам, операциям и всей структуре. В ней информационно-преобразовательные операции распределяются с учетом специфики объектов дефектоскопии, физической взаимосвязи признаков и эффектов индивидуальных методов неразрушающего контроля и системно согласованных параметров выход-вход всей цепи преобразований. В комбинированной дефектоскопии максимально используются преимущества отдельных традиционных методов неразрушающего контроля и создаются современные способы и средства оперативного контроля на единых методологических основах.

Диагностика и дефектоскопия поверхностей и изделий любой сложности неразрывно связаны с учетом влияния различных воздействий как внутри их структуры, так и внешних источников и помех. Чем труднее задача, тем сложнее физическая основа проявления неоднородных признаков изменчивого материального тела. И в структурно-алгоритмической реализации способов и средств комбинированной дефектоскопии особое место занимают комплексные преобразования информативных излучений и их взаимосвязи с выявляемостью первичных признаков зарождающихся дефектов.

Авторы признательны рецензентам за внимательное прочтение рукописи и критические замечания по структуре глав монографии, а также Т. В. Букатенко и М. П. Марковой за помощь в подготовке иллюстраций и электронного варианта рукописи.

ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Эффективность и перспективность совершенствующейся дефектоскопии обусловлены физической реализуемостью существующих методов неразрушающего контроля и финансово-экономической доступностью элементной базы. Применимость отдельно взятых индивидуальных методов неразрушающего контроля определяется их информационно-технологическими возможностями по проявляемости и выявляемости дефектных мест наружных и внутренних поверхностей с ограниченным доступом.

В каждом из видов и методов неразрушающего контроля используются свои специфические эффекты и технологические признаки изменчивости состояний и свойств дефектоскопируемых объектов. Их взаимосвязь в проявляемых экстремальных отклонениях устанавливается через выявляемость информативных излучений, формируемых при стимулирующем воздействии на обследуемую зону известного диапазона электромагнитных излучений. И если изменчивость пространства состояний и свойств присуща материальному объекту, то адекватность этих пространственно-временных изменений абстрагируется в некотором формализованном отображении. В такой взаимосвязи отражается информационно-физическое единство материального тела и первичной информации об изменчивости его свойств.

Эффективность и перспективность совершенствования современных средств и технологий неразрушающего контроля обусловлены их преимуществом в применении и материально-энергетической затратностью в поиске и визуализации изображений дефектных зон. Сам по себе каждый из видов неразрушающего

контроля использует свои специфические эффекты и признаки деградирующего состояния материального тела (объекта) и их проявляемость в известных диапазонах электромагнитных излучений. И всякое изменение состояний и свойств проявляется в пространственно-временной изменчивости, абстрагируется в виде информативного излучения с некоторыми параметрами информационного поля. Адекватность пространственно-временных изменений состояний и свойств и их информационного отображения отражает информационно-физическое единство материи и информации [3, 11].

1.1. Информационно-физические основы визуализации аномальных отклонений

В оценке качества любого изделия как объекта дефектоскопии важное значение приобретает визуальное восприятие его изменчивости. В обеспечении потребительского спроса качество выступает некоторым определяющим критерием интегрированного отражения соответствия параметров и свойств реальной продукции ее нормированным требованиям.

Проектно-технологической документацией задаются необходимые параметры, обеспечивающие выпуск требуемого продукта при заданных материально-энергетических затратах. Однако в реальных условиях в силу ряда субъективных и объективных причин совокупно проявляются случайные дестабилизирующие воздействия. Результатом таких многофакторных воздействий являются некоторые пооперационные отклонения от заданных режимов, параметров и свойств. И для обеспечения гарантированного качества продукции необходимо оперативное и своевременное информирование о появлении и пространственно-временных координатах возникновения этих отклонений. Именно проявление аномальных отклонений создает основу формирования обратной связи в системе управления качеством. Но для этого система должна выявить (обнаружить) и локализовать проявляющуюся неоднородность, формируемую этой «ненормальностью».

Для современного приборостроения и различных отраслей машиностроительного комплекса усложняющиеся техника и техно-

логии, а также расширяющаяся номенклатура и растущие масштабы производимой продукции предъявляют повышенные требования к способам и средствам оперативного контроля, диагностики и дефектоскопии.

В единой системе контроля качества изделий важное значение имеют пространственно-распределенные параметры поверхностей геометрических тел. Пространственно-временные изменения свойств любого геометрического тела первоначально проявляются в некоторых их технологических и конструктивных отклонениях от нормируемых значений. В совокупности таких отклонений отражается качественное состояние поверхностей и самих изделий. В единых программах обеспечения качества особое значение приобретают анализ и своевременное выявление признаков и причин деградации материалов и изделий, в которых проявляются многофакторные взаимозависимости отклонений, поверхностных неоднородностей и качества. Стратегическая задача обеспечения контролеспособности отдельных операций и всего производственного процесса состоит не только в оценке их нормированного ресурса, но и в упреждении аномальных отклонений и аварийных ситуаций [7].

Дефектоскопия представляет совокупность методов и средств неразрушающего контроля для обнаружения внутренних и поверхностных дефектов материалов и изделий. В дистанционной дефектоскопии объединяются способы и средства оценки текущего состояния поверхностей геометрических тел. Она включает мониторинг, в том числе наблюдение, контроль, регулирование и управление параметрами и свойствами отдельных участков или всего изделия. С учетом воздействия определенного фактора или группы факторов строятся алгоритмы, способы и структуры дистанционной дефектоскопии.

В условиях производства и эксплуатации различных изделий технологическими нормативами определены параметры, критерии и технологии оценки состояния поверхностей геометрических тел. Однако любое технологическое воздействие, как и воздействие окружающей среды и внешних технических систем, вызывает изменение пространственно распределенных геометрических пара-

метров поверхностей. Эти изменения проявляются в характерных физико-технических признаках поверхностей элементов геометрического тела. И если физико-технические свойства и признаки поверхностей присущи материальному телу, то на информационном уровне они абстрагируются в некотором информационном поле. Для характеристики случайных отклонений состояний и свойств поверхностей в большинстве случаев пользуются интенсивностью флуктуаций источников информации и корреляционной функцией ввиду незначительности среднего значения флуктуационного поля [8].

Пространственно-временное изменение свойств контурных поверхностей изначально появляется в некоторых технологических сообщениях, совокупно отражающих определенные признаки зарождающихся дефектов. С появлением таких сообщений проявляется первичная информация об изменяющихся свойствах и параметрах элементов поверхностей.

Во взаимодействии излучений с элементами поверхности формируются пространственно распределенные источники первичной информации. В них отражаются ненормальные свойства элементов деградирующей поверхности в форме, соответствующей отклонению (неоднородности) нормированных признаков. Само по себе нормированное признаковое пространство не информативно, в нем нет новых сведений о пространственно-временных изменениях состояний и свойств геометрического тела. Формирующаяся неоднородность является первопричиной технологической информации, ее первичным источником.

Для эффективной эксплуатации и ресурсосбережения с хорошо продуманной системой базовой автоматизации контрольно-измерительных операций лучшую контролируемость и управляемость обеспечивают оперативная дефектоскопия и диагностика. В такой стратегии определяющее значение имеет выявление взаимосвязи разнородных воздействий и соответствующей технологической изменчивости, отображаемых в формирующейся первичной информации. И здесь особую значимость приобретают системные факторы проявляемых физико-технологических признаков аномальных отклонений и их корреляционных связей

с информативными излучениями в пространственно-временных координатах поверхностей и объемов [14].

Изменчивость состояний и свойств элементов поверхности позволяет оперативно оценивать отклонения их геометрических параметров, отличающихся природой, спецификой структуры материалов и режимами работы изделия. При этом задача дефектоскопии состоит на первичном уровне в описании и выделении аномальных признаков пространственно-распределенных отклонений с последующей идентификацией и классификацией фактического дефекта по информативному источнику.

Специфика пространственно-распределенных текущих отклонений и их проявляемость определяются случайным сосредоточением некоторых характерных признаков поверхности (объема), отличающейся протяженностью, макро- и микрорельефом и конструктивным своеобразием профилей. При воздействии внешним излучением формируется источник первичной информации. Это излучение «модулируется» зарождающимися технологическими отклонениями и соответствующими информационными неоднородностями с отображением их пространственно-временных координат, свойств и параметров. И естественным критерием оценки информативности источников служит количество сведений, содержащихся в них.

Каждый из видов и методов неразрушающего контроля характеризуется некоторой восприимчивостью к пространственно-временным изменениям в нормированных границах отклонений эксплуатируемого объекта. В структуризации комплексных преобразований физических эффектов и признаков, характеризующих проявляемость пространственно-временных изменений в некотором нормируемом пространстве состояний и свойств, определяющее значение имеет реакция объекта на внешнее воздействие в таком граничном положении. При этом структурно-алгоритмическая реализуемость абстрактных отображений аномальных отклонений (экстремальных, критических, аварийных) обеспечивается их «визуализацией» существующими способами и средствами. Сама «визуализация» отражает восприимчивость «потребителя» к форме отображаемой информации. Как функци-

ональным элементом всей системы визуализации потребителем может быть наблюдатель (оператор-дефектоскопист), процессор или ЭВМ. В любом случае в этом звене преобразований реальное отклонение состояний и свойств объекта идентифицируется в соответствии с установленной классификацией дефектов.

Идентификация отклонений присуща любому виду и методу неразрушающего отклонения, а их принципиальные отличия и возможности проявляются на уровне первичной информации. Ограниченные возможности обеспечения контролеспособности изделий и производств сказываются на совершенствовании и создании новых материалов, изделий и процессов. Адаптация каждого из видов к задачам и критериям рациональной организации информационных преобразований на уровне первичной информации и ее подготовки к трансляции на очередной уровень.

Генерация и формирование информативных излучений. Независимость и достоверность оценки состояния невидимых областей различных объектов могут быть достигнуты только тогда, когда оператор отчетливо воспринимает двумерное изображение исследуемой зоны непосредственно на изделии. Такие возможности обеспечивают разрушающие методы испытаний. При этом всякие разрушения изделия обуславливают его эксплуатационную непригодность, что приводит к значительной затратности технологического контроля.

В косвенных оценках состояние «невидимых» зон методами и средствами неразрушающего контроля наблюдателю представляется как бы ее копия в виде фотографического отображения в некоторых пространственно-временных координатах. Оптическое изображение более привычно и комфортно. В такой форме оптическая информация обеспечивает кратчайший путь в структуре визуализации и отображения комплексными методами. Всякое первичное скопирование невидимых зон в условиях плохой видимости и ограниченного доступа относится к материальному изделию и посредством абстрагирования дистанцируемая «визуакопия» с одной стороны как бы приближается к наблюдателю. С другой стороны, наблюдатель как бы сам проникает внутрь непосредственно к труднодоступной зоне. В такой взаимосвязи

более комфортно и эргономично комбинируются структуры визуализации недоступных зон [21].

Такое зрительное внутривидение методами и средствами неразрушающего контроля реализуется по-разному с учетом эффектов преобразований и отличительных признаков выявляемости. У одних это получается длиннее и затратнее, у других – короче и выгоднее. Но всех их объединяет единый алгоритм структурно-алгоритмических преобразований – от признаков аномальных отклонений через среду к оптическому изображению, т. е. наблюдатель имеет формализованное изображение изменяющегося пространства состояний и свойств в виде некоторой статичной или динамичной копии. И насколько эта копия схожа с реальными изделиями, зависит от информационно-физических возможностей процесса визуализации.

В визуализации как информационно-преобразовательном процессе заложены две важнейшие функции: энергетическая и информационная. Обе эти функции связаны через среду. Для того чтобы пространственно-временная изменчивость «высветилась», необходимо приложить энергию внешнего источника. Под его воздействием аномальное отклонение начинает генерировать информационное поле, в котором на уровне естественного фона закодированы количественные и качественные показатели реального состояния объекта. Структуризация преобразовательного процесса формируемого информационного поля, несущего полезную информацию, предполагает всю систему визуализации. Но в этой системе имеет место и дезинформация как случайный дестабилизирующий фактор пооперационных преобразований.

Как в пассивных, так и в активных способах визуализации энергетический и информационный каналы объединены прямыми и обратными связями, реализуемыми через прозрачные для этих излучений среды. И от спектрально-энергетического согласования всех составляющих энергетического и информационного каналов, включая и среду, зависят доступность стимулирующих воздействий в заданную зону и качество ее визуализированного отображения средствами волоконной оптики.

В неразрушающем контроле для задач визуализации используется весь диапазон освоенных электромагнитных излучений. Но более комфортными являются оптические и примыкающие к ним ультразвуковые и инфракрасные излучения [22].

В эффектах оптических взаимодействий информативного излучения отображается вся совокупность свойств, отражаемых каждым элементом объекта. Они представлены в спектрально-энергетических параметрах элементарных составляющих лучистого потока. Собственно превращение изменяющегося пространства состояний и свойств материального объекта в адекватное отображение спектрально-энергетических характеристик информативного излучения и составляет методическую основу первичных преобразований в визуализации неразрушающими методами.

На разных стадиях производства всякое физико-техническое воздействие сказывается на пространстве состояний и свойств, что адекватно отражается в сопутствующем ему информационном процессе. В общей структуре физико-технических свойств технологическая сторона отражает реальную сущность первичных сообщений. Информационная сторона отображает количественные и качественные особенности взаимодействия стимулирующих воздействий и объекта. То есть если в технологических параметрах объект проявляет свою реакцию на энерготехнологические воздействия (механические, теплофизические и др.), то в информационных параметрах они абстрагируются в физические величины и информационно-физические сигналы.

Модели объектов могут быть сосредоточенными и распределенными, детерминированными и вероятностными, непрерывными и дискретными. Моделирование объектов в большинстве случаев связано с выявлением противоречий между формируемыми требованиями к ним и ограниченностью априорной информации о текущем функционировании их, особенно в динамике.

В основном для любого объекта выделяются признаки, поддающиеся точному расчету (детерминированные), описываемые некоторыми случайными закономерностями (стохастические) и не поддающиеся математическому описанию (чисто случайные).

Особую сложность при формализованном описании объектов контроля представляет качественный учет характера внутренних взаимозависимостей между абстрактно обособленными операциями. Любой объект, даже со средним уровнем конструктивно-технологической сложности, отличается стохастической структурой, что ограничивает возможности получения конкретных функциональных зависимостей между выходами и операционными воздействиями. Это особенно важно для случайных внешних воздействий (возмущений) и помех.

Однако формализованное разграничение отдельных операций с четко поставленными задачами визуализации позволяет для отдельного объекта использовать свой математический аппарат и конкретизировать многопараметровые функциональные зависимости. При этом формализация информационно-преобразовательных операций производится с учетом ограничений, учитывающих всю совокупность выходных и входных переменных, определяемых структурой технологического процесса.

В структуре комплексной дефектоскопии разнообразное проявление изменяющегося пространства состояний и свойств и их параметрических отображений позволяет условно подразделить объекты дефектоскопии по следующим признакам:

объекты определены с заранее установленными свойствами и параметрами; известны диапазоны изменений параметров и нормы на их значения;

объекты определены, но пространственно-временные значения параметров и их отклонения случайны; состав контролируемых параметров и технологические нормативы заданы, однако их нахождение в пределах пространственно-временной области существования характеристик объекта также случайно;

объекты не определены, и в этом случае проводятся спектрально-энергетическое воздействие, выявление и обнаружение источников информации с ранее неизвестными свойствами, которые в лучшем случае могут быть только предсказаны; характерные признаки таких источников не определены, пространственно-временные области существования их свойств и диапазоны изменения параметров также неизвестны.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Глава 1. Основы и методология комбинированной дефектоскопии ...	12
1.1. Информационно-физические основы визуализации аномальных отклонений	13
1.2. Структура эргатической системы визуализации дефектных зон ...	26
1.3. Методология комплексных преобразований в комбинированной дефектоскопии	36
1.4. Первичная информация, ее источники и трансформация в комбинированных способах дефектоскопии.....	49
1.5. Особенности моделирования комплексных преобразований методами комбинированной дефектоскопии.....	63
1.6. Основы и преимущества комбинированных преобразований волоконно-оптическими способами и системами.....	72
Глава 2. Структуризация способов комбинированной дефектоскопии	98
2.1. Схемотехника способов комбинированной дефектоскопии	99
2.2. Спектрально-энергетическая информативность методов воздействия излучениями	104
2.3. Первичные преобразования информации в комбинированной дефектоскопии.....	110
2.4. Ориентация излучателей и поиск информативных источников в спо-собах комбинированной дефектоскопии.....	117
2.5. Основы формализации способов и структур комбинированной дефектоскопии	125
2.6. Особенности структурно-алгоритмической оптимизации комбинированной дефектоскопии	135
Глава 3. Визуализация отображений в комбинированном контроле ...	141
3.1. Отображение неоднородностей в звуковых полях	142
3.2. Структура звуковой визуализации неоднородностей	148

3.3. Особенности ультразвуковой и акустооптической визуализации неоднородностей.....	154
3.4. Моделирование акустОВОЛОКОННОГО взаимодействия с неоднородностями.....	165
3.5. Комбинированная визуализация и визуаскопия методами неразрушающего контроля.....	176
3.6. Особенности светОВОДНОЙ визуализации в способах комбинированной дефектоскопии.....	183
3.7. Основы комбинирования структур неразрушающего и технологического контроля.....	189
Глава 4. Структура переработки информации в способах комбинированной дефектоскопии со светОВОДНЫМ кодированием.....	200
4.1. Структуризация операционных преобразований в комбинированном неразрушающем контроле.....	201
4.2. Структура операционных преобразований в комбинированной дефектоскопии.....	233
4.3. Комбинированная визуализация макро- и микроструктуры объектов.....	247
4.4. Особенности комбинирования структуры комплексных преобразований светОВОДЯЩИМИ ВОЛОКНАМИ.....	258
4.5. Особенности комбинированной дефектоскопии поверхностей сложноконтурных и протяженных изделий.....	280
Заключение.....	303
Литература.....	306