



In combined methods advantages of main ones are effectively realized and limitations of auxiliary ones and means of non-destructive inspection are compensated. Visualization of pictures of hard-to-reach surfaces by optical systems allows to construct rationally informational process of forming and localization of contrasting zones regenerated at different physical interactions on initial level.

В. Вл. КОННОВ, ЗАО НПЦ «Молния», г. Москва,
А. П. МАРКОВ, И. А. СКОБОВ, Д. А. ГОРБУНОВ,
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев

УДК 620.179:681.7.068

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ УЧАСТКОВ ТРУБ

Технологический контроль труднодоступных объектов связан с проблемами формирования первичной информации, ее локализации и передачи в пункты обработки. Для протяженных объектов с распределенными источниками информации сосредоточенные методы неразрушающего контроля находят ограниченное применение. Аномальные отклонения как потенциальные дефекты статистически неопределены и носят случайный характер как по видам, так и по параметрам. При этом источники информации находятся на удаленном расстоянии и имеют весьма ограниченный доступ [1, 2].

Для своевременного обнаружения возможных аномальных отклонений необходима первичная информация о контролируемых параметрах и свойствах, которые отображаются в виде излучений. Излучение передает энергию источника информации, которая наиболее полно проявляется в интенсивности и спектральных характеристиках. Реализация физических свойств в информационном процессе происходит при взаимодействии стимулирующего излучения с материальной средой. Однако для активных объектов, самопроизвольно генерирующих специфическое излучение в ходе своего функционирования, отпадает потребность во внешних воздействиях.

В любом случае структура информационного процесса определяется двухуровневой схемой: первичный преобразователь воспринимает отклонения физического параметра объекта контроля; вторичный связан с выходом первичного, представляющего собой информативный сигнал. Для согласованного взаимодействия первичного и измерительного преобразователей необходимо обеспечить схемную и функциональную совместимость каждого элемента в измерительной цепи. При этом непрерывное преобразование измерительной информации каждым последующим элементом должно производиться без существенного

обратного воздействия как на параметры предшествующего, так и на ход функционирования объекта.

Физические эффекты взаимодействия излучений с материальной средой проявляются в поглощении, прохождении, отражении и рассеянии. Эффекты двойного лучепреломления, люминесценции и другие требуют своих более сложных специфических схемных решений. В инфракрасной области особенно информативными являются спектры поглощения, так как величина поглощения энергии обратно пропорциональна длине волны излучения. Некоторое поглощение имеет место и при отражении излучения от различных неоднородностей, что также дает дополнительную возможность оценить физико-техническое состояние объекта [3].

Особый эффект взаимодействия излучения с неоднородностями проявляется в рассеянном излучении. Если при отражении и поглощении изменяется интенсивность, то при рассеянии — спектр рассеянного излучения, что обусловлено собственными частотами материальной среды. Вместе с тем интенсивность рассеянного излучения дает возможность получить измерительную информацию и о характере отклонений [4, 5].

Основной целью выбора той или иной оптической системы формирования и локализации первичной информации является получение ее максимума определенного содержания. При этом относительный максимум информации должен обеспечиваться с учетом допустимых искажений (потерь) данных о реальном сигнале, полученных по принятой схеме.

Широкими функциональными возможностями отличаются оптические методы и средства неразрушающего контроля. Количество информации как мера информационных возможностей оптических методов должно быть тем больше, чем больше спектральный диапазон преобразова-

ний. В реальных условиях такой диапазон ограничен некоторым участком спектра, воспринимаемым оптической системой. С учетом порога чувствительности (аддитивная составляющая погрешности) два соседних спектра могут быть неразличимы, т.е. в данном случае оптическая система спектрально нечувствительна и не информативна. Однако на интенсивность элементарного спектра излучения, воспринимаемого оптической системой, оказывают влияние и флуктуации стимулирующего или собственного излучения в виде засветок, шумов, потерь приемно-передающего тракта и т.д. Погрешности измерения интенсивности информативного излучения определяют предельную разность интенсивностей двух спектров, которая может быть зафиксирована оптической системой. С энергетической точки зрения такое соотношение идентично отношению сигнала к уровню помех.

В оптической дефектоскопии широко используют видимый спектр излучений, в котором более рационально реализуется процесс визуализации изображений оптическими системами. При этом физико-технические свойства контролируемого объекта отображаются в некотором информационном поле с соответствующими специфическими характеристиками. Качество информационного изображения объекта в основном определяется качеством формирования отображения локализованного участка, генерирующего первичную информацию о характере технологических отклонений.

При появлении некоторых аномальных отклонений в виде неоднородности изменяются характер и параметры информационного отображения. На промодулированное информативное излучение оказывает воздействие рассеянное на неоднородности объекта излучение, параметры которого зависят от характера аномального отклонения. Рассеянное излучение особенно значимо для слабо отражающих объектов.

Случайный характер отклонений приводит к большому разнообразию моделей описания их отображений. Для детерминированных и случайных распределений, преимущественно встречающихся в реальных условиях, изображение отклонений представляется ограниченным числом моделей. Математическая модель изображения представляется распределением яркости в пространственных координатах или области пространственных частот. При взаимодействии излучения на отклонении объекта изменяется контрастность отображения. Степень ухудшения контрастности в зоне отклонения определяется соотношением коэффициентов контрастности нормального состояния (бездефектного) и аномального, т.е. при появлении отклонений изменяется контрастность оптического изображения, что позволяет локализовать и анализировать выявленное отклонение, установить его признаки и некоторые характеристики.

Большими информационными особенностями отличаются инфракрасные излучения. Тепловое излучение передает энергию источника информации в виде собственного излучения контрастного участка. По закону Кирхгофа для всех тел коэффициент излучения равен коэффициенту поглощения. Для серых тел коэффициент излучения не зависит от температуры и длины волны излучения. Однако реальные тела могут рассматриваться как серые излучатели только в ограниченном спектральном диапазоне длин волн.

По закону Планка устанавливается функциональная зависимость между спектральной энергетической светимостью, температурой и длиной волны. С учетом этого при каждом измерении энергетической светимости необходимо определять путем измерений спектральный коэффициент излучения или брать его значение из таблиц. Обычно для определения температуры нагрева надо знать излучательность (светимость) не только для отдельных длин волн в спектре излучения, но и суммарно на всех длинах волн. По закону смещения Вина рассчитывается максимальное значение длины волны излучения, при котором при определении температуры достигается максимальная светимость.

Тепловые методы контроля динамических объектов ограничены рядом информационных и технологических особенностей по возбуждению, локализации и преобразованию первичной информации. Аналоговая информация наиболее полно характеризует физические свойства объекта, но требует специальных операций по ее защите и помехоустойчивости.

Волоконно-оптические методы обеспечивают селективность приемников излучений и возможность оперативной локализации информации в пространстве с последующей передачей в канализированном виде. С учетом этого снижаются затраты на создание первичных датчиков, улучшение их экспериментальных характеристик, снижение масса-габаритных параметров. Целенаправленный отбор первичной информации и ее начальная обработка при ограниченных габаритах датчиков позволяют оптимизировать структуру средств контроля и повысить их чувствительность.

Наибольшей простотой отличаются волоконно-оптические датчики теплового контроля в заданном допуске. Посредством волоконно-оптических зондов анализируются текущие значения параметра путем сравнения с простейшими программными устройствами. Тепловой контроль в реальном масштабе времени требует высокого быстродействия элементов приемно-передающего тракта. Однако путем стробирования с накоплением информации и сканирования совместно с программно-управляемой обработкой имеется возможность получения данных о пространственном распределении теплового поля функционирующего объекта с высокой достоверностью.

Выбор параметров волоконно-оптических датчиков определяется прежде всего спектральным составом излучения объекта в определенном диапазоне температур, требуемой пространственной разрешающей способностью, информационными характеристиками канала, специфическими требованиями к конструкции и особенностям функционирования объекта.

С применением волоконно-оптических датчиков в составе комбинированных средств теплового контроля при незначительном усложнении повышается их эффективность и производительность за счет совмещения операций по одновременному контролю нескольких информативных параметров объекта. Оптимальность структуры технических средств теплового контроля определяется рациональным распределением функций между периферийными устройствами, каналами передачи и средствами обработки, включая микропроцессорную технику.

Комплексное использование преимуществ различных методов неразрушающего контроля повышает их коммуникабельность, применимость и конкурентоспособность. В некоторых случаях только комбинированный метод обеспечивает решение задач технологического контроля с неразрушающими технологиями.

Оптические методы при комплексном применении позволяют более рационально визуализировать пространственное положение приемной части, а в совокупности с волоконно-оптическими системами повысить помехозащищенность и быстродействие. Повышение выявляемости и точности обеспечивается при совместном применении оптического, вихретокового и капиллярного методов неразрушающего контроля.

Особенно перспективна капиллярно-оптическая дефектоскопия при выявлении поверхностных нарушений (сплошности, измерение ширины и глубины раскрытия трещин). Капиллярные методы отличаются высокой чувствительностью и проявляемостью поверхностных неоднородностей. Однако у них ограничены доступность и коммуникабельность. Многооперационность и трудоемкость, токсичность некоторых дефектоскопических материалов, их взрыво- и пожароопасность значительно усложняют эргономику, так как дефектоскопист работает непосредственно в условиях обследуемых объектов. В капиллярно-оптическом методе эффективно реализуются возможности "осмотрительности" оптики и проявляемо-

сти пенетрантов для решения задач дистанционного контроля протяженных объектов.

Тепловизионные методы и средства находят практическое применение для визуализации изображений особенно слабо нагретых тел и оценки их тепловых полей методом сканирующей пирометрии. Путем последовательного просмотра протяженного объекта осуществляется дистанционный съем информации узконаправленной оптической системой с ИК приемником и формирование видимого изображения контрастного участка тепловизионными системами (пировидиконы) [7].

В комплексной системе ранней диагностики состояния нефтегазопроводов тепловизионной лазерной аппаратуре отводится значительное место. Особое значение для этих целей имеют аэрокосмические методы, отличающиеся предельной чувствительностью, оперативностью, высокой надежностью обнаружения и возможностью установления пространственных координат дефектируемых участков. Однако при высокой стоимости таких систем более экономичным является дистанционное зондирование на базе мотodelьтаплана. При скорости полета до 100 км/ч и высоте от 50 до 200 м система комплексной тепловизионной и видеоспектральной диагностики линейных участков трубопроводов обеспечивает температурную чувствительность 0,1 °С с полем зрения тепловизора в 12 угловых градусах.

Литература

1. Ключев В.В. Технологические средства диагностики: Справ./ В.В. Ключев, М.Н. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др. М.: Машиностроение, 1989.
2. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справ. / В.В. Ключев, В.Н. Филиппов и др. М.: Машиностроение, 1995.
3. Прохоренко П.П. Достижения физики неразрушающего контроля: Сб. науч. тр., посвященный 40-летию Института прикладной физики. Мн., 2003.
4. Ощепков П.К., Меркулов А.П. Интроскопия. М.: Знание, 1967.
5. Строков В.А., Кеткович А.А. Оптические методы и средства дефектоскопии. М.: ЦНИИТЭНиП, 1978.
6. Плетнев С.В. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии: науч.-метод. справ. пособ. / С.В. Плетнев, А.И. Потапов, А.П. Марков. СПб.: Лита, 2001.
7. Коннов Вл.В., Гоголинский В.Ф. Оптико-электронный комплекс для видеотепловизионного мониторинга нефтегазопроводов с применением мотodelьтаплана // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2004.