

УДК 681.068:681.335.2

**С. С. Сергеев, канд. техн. наук, доц., А. П. Марков, О. С. Сергеева,  
А. В. Коннов, Е. В. Белянко**

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФИЗИКО-ОПТИЧЕСКОМ КОМБИНИРОВАННОМ КОНТРОЛЕ И ДЕФЕКТОСКОПИИ**

Рассматриваются структурно-алгоритмические особенности физико-оптических преобразований первичной информации при комбинированном использовании эффектов воздействия излучениями в неразрушающем контроле и дефектоскопии. Проведен анализ особенностей преобразования первичной информации физико-оптическими методами с точки зрения обеспечения новых возможностей оптической дефектоскопии и неразрушающего контроля.

Производственно-технологический процесс представляет многопараметровую систему с многоуровневым распределением физико-технических воздействий на различных этапах производства. Формирование качественной продукции связано с максимальным учетом всех физико-технических и информационных особенностей совокупности информационно-энергетических взаимодействий (взаимосвязей) по обеспечению интегрального критерия – получение конкурентоспособного продукта с заданными потребительскими свойствами [1].

Надежная эксплуатация машин и механизмов, деталей и узлов машино- и приборостроения, объектов транспорта, энергетики, авиационной и космической промышленности и других отраслей связана с комплексом конструкторско-технологических мероприятий по обеспечению качества и надежности.

Ряд причин, не поддающихся прогнозированию в условиях эксплуатации, приводит к критическим или аварийным ситуациям, гибели людей и значительным потерям в материально-технических средствах. При доводке, производстве и длительной эксплуатации многих изделий накапливается статистический материал, по результатам корректируются конструкторско-технологическая документация, режимы работы оборудования и совершенствуются методы и средства контроля и управления.

Однако в условиях создания новой техники и технологий статистические методы существенно увеличивают сроки опытной эксплуатации и серийного освоения таких изделий.

Резкое усложнение изделий и ужесточение их динамических характеристик обуславливает потребность в их методической и аппаратной контролеспособности. При этом пооперационный технологический контроль выступает как важнейшая составная часть всей системы контроля качества. С возрастанием сложности и функциональной значимости отдельных блоков и устройств возрастают расходы на ликвидацию последствий отказов и дефектов в ходе эксплуатации. Прогнозирование или раннее обнаружение аномальных отклонений в технологиях и конструкциях существенно повышает эффективность контроля и эксплуатационную надежность изделий.

В структуре технологических воздействий на разных этапах производства физическая сторона адекватно отражается в сопутствующем ей информационном процессе. Как для технологического, так и для информационного процессов характерно определенное сосредоточение распределенных во времени и пространстве физических и информационных операций, т.е., если физическая сторона отражает характерные особенности материального объекта, то в первичной информации абстрагиру-

ются его количественные и качественные показатели.

Технологией задаются необходимые параметры производственного процесса, обеспечивающие получение требуемого продукта при заданных материально-энергетических режимах. Однако в реальных условиях в силу ряда субъективных и объективных причин проявляются различного рода дестабилизирующие воздействия, что приводит к некоторым аномальным отклонениям (аномалиям) от заданных режимов и параметров технологического процесса. Но для реализации основной цели система «техпроцесс – управление» должна оперативно и своевременно информироваться о проявлении и месте возникновения этих отклонений. В такой структуре нормально функционирующий техпроцесс отражается в виде однородного информационного поля, в котором отсутствуют источники первичной информации для технологического контроля и дефектоскопии.

Несовершенство и неприспособленность новейших технологий, ограниченность методического и аппаратного обеспечения применительно к стремительно развивающейся технике проявляются в различных техногенных отклонениях, экстремальных и аварийных ситуациях. Информативность источников весьма многообразна и каждый из них по-разному воспринимается техническими средствами. Для взаимосогласованных действий локализованная информация источника приводится к требуемому виду и параметрам, доступным для каждого элемента в цепи преобразований. В единстве физико-технических и информационных процессов формируются источники первичной информации о качестве конечного продукта и надежности функционирования оборудования.

В системе управления качеством особое значение имеет первичная информация, в которой отражается совокупное взаимодействие материально-технических и информационных свойств. И для информационного процесса, реализуемого мето-

дами и средствами технологического процесса, источниками первичной информации выступают скрытые дефекты и аномальные отклонения. То есть этими «аномалиями» определяется первичный уровень в структуре и алгоритмах обоснованно выбранного метода и средства дефектоскопии и диагностики.

Использование совершенных технологий, новых материалов, оптимальных режимов и сложных конструкций в свою очередь требует более прогрессивных методов и средств контроля и диагностики. Уже на стадии проектирования ставится задача обеспечения контролеспособности отдельных, особенно ответственных деталей, узлов, блоков и всего производства. Использование высокопроизводительных приборов и систем позволяет существенно сократить затраты и время на конструкторскую разработку изделий, организационную и технологическую подготовку производства, государственных испытаний и сертификацию.

Как в более перспективных и эффективных в неразрушающих методах связь с источниками первичной информации устанавливается без нарушения условий и режимов функционирования производственного процесса (объекта управления). Своевременно получаемая первичная информация позволяет выявить технологические отказы, брак, потери и причины их появления и выработать систему мер по совершенствованию технологического контроля и всего производственного процесса [3, 4].

В формировании критерия выбора определенного вида контроля и структуры информационного процесса его реализации определяющее значение имеет гарантированная выявляемость отклонений и эффективная реализуемость. В большей мере специфические свойства «аномалий» и соответствующих им источников информации проявляются во взаимодействии излучений с материальными объектами. Специфичность используемых для воздейст-

вия на объект излучений качественно проявляется в выявляемости отклонений, определяющей физико-технические возможности соответствующего метода. Здесь имеет значимость комбинационное использование преимуществ с учетом ограничений отдельно взятого метода неразрушающего контроля.

Физико-технические зависимости проявления количественных и качественных характеристик технологических отклонений в информативных параметрах (эффектах) составляют основу первичных преобразований информации. При этом основная часть информации в дальнейшем преобразовании ориентирована на потребителя. Но не менее важную часть представляет информация, связанная с различного рода дестабилизирующими воздействиями источника излучения, материальной среды распространения сообщений, элементов преобразования их и транспортирования.

В общепринятом преобразовательном процессе информация и дезинформация присущи одному и тому же информационному каналу. Принятый вид контроля определяет носители информации, материальную среду, параметры и структуры, обеспечивающие более эффективную реализацию информационных операций (в т. ч. и типовых) в системе визуализации полей различной физической природы. Физическая проявляемость должна обеспечиваться и эффективной выявляемостью. В их совокупности определяется значимость и потребительские свойства первичной информации. То есть физические свойства неоднородностей должны быть так преобразованы в абстрактные отображения, чтобы потребитель мог воспринимать и идентифицировать их по соответствующим градациям (технологиям) [5].

Абстрагирование и дистанцирование первичной информации связано с изысканием оптимальных методов и схем структурно-алгоритмических преобразований, физических эффектов и материальных сред. Современные высокотратные технологии информационных преобразова-

ний и передачи приблизились к своим пороговым информационно-физическим возможностям.

Изыскание более совершенных алгоритмов и структур процессов преобразования, передачи, обработки и отображения информации уже на первичном уровне связано с обеспечением новых качественных показателей как по пропускной способности и быстродействию, так и по системной совместимости и динамике. Физические закономерности, реализующие принципиальные основы неразрушающего контроля, достигают своих предельных возможностей и затраты на дальнейшее расширение их информационно-преобразовательных функций неоправданно возрастают.

Попытка некоторого улучшения тактико-технических характеристик за счет отдельных более совершенных элементов, блоков и подсистем кардинально не меняют сущность того или иного вида и средства контроля. Рациональное преобразование охватывает все виды человеческой деятельности: преобразование энергии и света, преобразование материалов и сырья, преобразование и передача информации. Путем информационно-физического сближения различных видов и пространственно-временного сближения отдельных операций и элементов улучшаются некоторые тактико-технические характеристики традиционных средств.

Функционально-экономическая оптимизация структурных преобразований расширяет возможности технических средств при сравнительно небольших материальных затратах. Формализованное отображение отдельных операций и всего процесса преобразований информации позволяет выявить узкие места и интерпретировать результаты с характеристиками, превышающими предельно достижимые для отдельных видов и средств. В такой структурно-алгоритмической комбинации оптимизация преобразовательного процесса в неразрушающем контроле и дефекто-

скопии формируется как математико-техническая задача с информационно-экономическими критериями.

Абстрактное отражение истинного пространственно-временного состояния материального объекта до его формализованного отображения у получателя проходит цепь взаимосвязанных параметрических преобразований. При наличии зависимостей некоторых сигналов и пространственно-временных параметров от каждого элемента объекта контроля (информационного поля) информационно-математическая задача преобразований сводится к задаче редукции информационной системы. В данном случае редукция предполагает возвращение, приведение обратно изображения объекта как бы к его идеальному виду. То есть задача редукции реального объекта к оптимальному в некотором смысле предполагает восстановление истинного отображения объекта идеальной неискажающей системой по ее формальному изображению.

Любое формализованное описание процесса преобразования с определенной достоверностью приближенно изображает реальный процесс. Математически модель преобразования с некоторой погрешностью должна учитывать все множество различных, в том числе второстепенных дестабилизирующих факторов. Их проявление сказывается в том, что любой параметр в реальной цепи преобразований будет отличаться от его значения, предсказанного моделью. Обобщенно эти расхождения (ошибки) проявляются в виде помех, шума и других случайных отклонений. Снижение влияния помех конструкторско-технологическим путем, связанное с созданием системы преобразований с наименьшим искажением результатов, весьма трудоемко и требует больших материально-технических затрат.

Методы редукции решают такую задачу минимизации влияния случайных шумов более рационально. В современных условиях математическая модель оптимальной системы преобразований предполагает структуру такой системы, которая

обеспечивала бы эффективную связь между входами и выходами на каждой операции с получением наилучших результатов при решении задач редукции с использованием микропроцессоров. При системном рассмотрении такой задачи учитываются достижимые возможности технической реализации и возможности математических методов. Системный подход при построении математической модели преобразований, создании алгоритмов решения задач редукции, планировании эксперимента и испытаний имеет важное научно-техническое значение. Важнейшей особенностью такого моделирования является условие, чтобы математическая модель поддавалась исследованию с помощью средств и методов современной математики.

Неразрушающий контроль объекта с труднодоступной локализацией источников первичной информации предполагает в общем случае формирование характерных признаков аномального отклонения (аномалии) с последующим отображением в виде абстрактного образа доступного для непосредственного восприятия оператором (рис. 1). Физические особенности материального объекта в некоторой мере отображаются и с информационной стороны. При воздействии излучения возникающая у объекта информация проявляется в физических эффектах формирования некоторого контраста в пространственно-однородной среде. То есть аномалии в физико-технической структуре на первичном уровне соответствует контраст в информационном поле.

С физической стороны разнородные физические величины (см. рис. 1) с их всевозможными аномальными отклонениями встраиваются в единую физико-техническую систему от объекта до его образа. С другой стороны состояние и свойства объекта отображаются в системе информационных преобразований от контраста и до абстрактного образа. При этом чувствитель-

ным элементом датчика воспринимается контраст информационный. Комплекс информационных операций включает преобразование, каналирование, дистанцирование, отображение и другие действия для удобозримого восприятия потребителем. При этом важное значение имеет пространственно-временное восприятие изменения контраста одновременно с пространственным положением аномалии.

Для проявления физико-технических свойств аномалии, реализуемой информационной системой в любом виде неразру-

шающего контроля, предусматривается комплекс информационных операций. При некотором различии в физических основах и принципах (эффектах) различные виды и методы неразрушающего контроля строятся на общих основах информационно-физических преобразований. Их алгоритмы и структура должны обеспечивать кратчайшую реализацию основной цели: увидеть невидимое, т. е. визуализировать невидимые аномалии, недоступные для непосредственного восприятия потребителей.



Рис. 1. Структура физико-информационных преобразований

При большом разнообразии объектов, технологий и наличии большого арсенала традиционных методов и средств технологического и неразрушающего контроля более универсальными являются физико-оптические. По своим тактико-техническим характеристикам и функциональным возможностям физико-оптические преобразования обеспечивают кратчайший путь (а иногда и монополюсный) в цепи от материального объекта до абстрактного образа. Пространственно-временное непостоянство оптической информации при ее чувствительности и непосредственной доступности создает принципиальную возможность более тщательного и низкзатратного комбинированного контроля. Большой материально-энергетической эффективностью отличаются комбинированные методы на основе физико-оптических преобразований. При этом информационные количественные и качественные характеристики материального объекта отображаются в информативных оптических параметрах (сигналах) абстрактного образа [6, 7].

Физико-оптическая техника и технологии обеспечивают более рациональное проявление и восприятие первичной информации. Оптические системы визуализации полей различной физической природы отличаются своей оперативностью, мобильностью и эргономикой в расширении познавательных возможностей человека. Быстро развивающаяся база электроники и оптоэлектроники с расширением оптического диапазона излучений способствует и успешному освоению видимого спектра излучений с примыкающими к нему ультрафиолетовой и инфракрасной областями. К тому же оптические связи в цепи преобразований (взамен гальванических) обеспечивают идеальную развязку при высокой избирательности и помехозащищенности.

В любом случае как средство аппаратного обеспечения комбинированная аппаратура контроля в большей степени должна приспособляться, адаптироваться к конструктивным и технологическим особенностям объектов. И в этом отношении весьма проблематично создание и использование

унифицированных многофункциональных технических средств.

Преобразование первичной информации физико-оптическими методами связано с обеспечением системной совместимости всех звеньев параметрической цепи. И здесь наряду с помехозащищенностью и рациональным преобразованием особое значение придается достоверной дистанционной передаче и эффективной обработке первичной информации. Комплексное использование преимуществ различных методов позволяет создавать комбинированные адаптивные системы пространственно-временной обработки и дистанцирования информации на уровне ее возникновения. Такие системы в некоторой мере выступают как «адаптивные» по той причине, что действуют без априорной информации о направлении поступления информативного излучения и его пространственно-временном распределении.

В комбинированном контроле комплексирование методов выявления аномалий, дистанцирования и обработки информации наряду с алгоритмами рационального поиска и максимизирующего обобщения рационально применение систем с самообучением и распознаванием. И здесь физико-оптические методы контроля и пространственно-частотной обработки с модуляцией диаграммы направленности открывают новые возможности оптической дефектоскопии и неразрушающего контроля.

Для ориентированного поиска и направления приема информации от источника эффективна структура системы с диаграммной модуляцией. Такая модуляция реализуется путем изменения амплитудного или фазного распределения поля по приемной аппаратуре, ее размеров, формы, положения или ориентации в пространстве. В большом разнообразии методов восприятия и пространственно-временной обработки важное значение имеют методы скани-

рования и стробирования с обеспечением максимального правдоподобия.

В системах неразрушающего контроля и дефектоскопии дистанцирование первичной информации связано с рациональной организацией канала. Физико-оптические методы комбинированного контроля адаптируются к материальному объекту посредством чувствительных датчиков, в которых разнообразные физические величины преобразовываются в унифицированные сигналы, соответствующие параметрам оптического канала. В световодных каналах реализуются не только функции каналирования и защиты информации, но и различные операции преобразования. Соответственно выбираются схемы, конструкции, световоды, источники излучений и светоприемники. Определяющими параметрами системно связанных структурных элементов цепи преобразований и дистанцирования являются спектрально-энергетические потери в канале (затухание при передаче и преобразовании), чувствительность светоприемника [8, 9].

Сочетание достижений оптоэлектроники, схемотехники, информационной и микропроцессорной техники, волоконной оптики и технологий неразрушающего контроля позволяет решать комбинаторные задачи дефектоскопии и диагностики. При высоких информационно-метрологических возможностях физико-оптические преобразования и световодное дистанцирование обеспечивают эксплуатационную надежность и системную совместимость различных по своей физической природе элементов в общей информационной цепи [10,11].

На комбинированных методах физической проявляемости и выявляемости, селективности и ассоциативности возможно создание алгоритмов и структур дистанционно-преобразовательных систем с оптимальным поиском и обзором информативных областей. Физико-оптические методы оптимального обзора при поиске информации у объектов с пространственно-временным распределением источников имеют большое значение и для дефектоскопии. Используя различные стратегии,

технологии осмотра и наблюдения информативных пространств, создаются предпосылки достоверного и гарантированного контроля. При этом лучшей результативностью будут обладать методы комбинированного контроля, в которых максимально учитываются физические эффекты (принципы) и априорные сведения о контролируемом пространстве и его возможных аномалиях (дефектах).

В этой связи особую значимость приобретает разработка комбинированных физико-оптических алгоритмов и структур на основе сочетания преимуществ и учета ограничений различных методов неразрушающего контроля. Сочетание новейших приемов обработки информации, разработанных в информатике и микропроцессорной технике, с усовершенствованием традиционных методов повышает эффективность и сокращает сроки разработок новых средств. И здесь особую значимость приобретают новейшие методы многорежимного поиска с переключением траекторий, методы рационального, а иногда и оптимального просмотра при выявлении, сборе, передаче и обработке информации.

Оптимальный поиск источников информации в двухмерном и трехмерном пространстве, высокая плотность и помехозащищенность, эффективность визуализации и дистанцирования информации из труднодоступных пространств, слежение за объектом, различные одномерные и двумерные функциональные преобразования – все это создает некоторую монополию комбинированным физико-оптическим методам контроля и дефектоскопии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология технического контроля в машиностроении / Под общ. ред. В. Н. Чепурина. – М. : Изд-во стандартов. 1990. – 400 с.
2. **Потапов, А. И.** Некоторые направления совершенствования волоконно-оптической техники контроля и дефектоскопии / А. И. Потапов,

С. С. Сергеев, А. П. Марков // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий : межвуз. сб. – СПб. : СЗТУ, 2006. – Вып. 12. – С. 3–8.

3. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 1. Контроль излучениями : практ. пособие / Б. Н. Епифанцев [и др.] ; под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1992. – 321 с.

4. **Соснин, Ф. Р.** Неразрушающий контроль : справочник : в 7 т. / Ф. Р. Соснин ; под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 1 : В 2 кн. : Кн. 1 : Визуальный и измерительный контроль. – М. : Машиностроение. 2003. – 560 с.

5. Некоторые направления совершенствования волоконно-оптической техники контроля и дефектоскопии / А. И. Потапов [и др.] // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий : межвуз. сб. – СПб. : СЗТУ, 2006. – Вып. 12. – С.3–8.

6. **Плетнев, С. В.** Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии : науч.-метод. справ. пособие / С. В. Плетнев, А. И. Потапов, А. П. Марков. – СПб. : ЛИТА. 2001. – 312 с.

7. **Потапов, А. И.** Структурно-информационные особенности волоконно-оптических элементов световодных систем / А. И. Потапов, С. С.

Сергеев, А. П. Марков // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий : межвуз. сб. – СПб. : СЗТУ, 2006. – Вып. 12. – С. 26–31.

8. **Андрушко, Л. М.** Волоконно-оптические линии связи / Л. М. Андрушко, И. И. Гроднев, И. П. Панфилов. – М. : Радио и связь. – 136 с.

9. **Павлов, И. В.** Анализ современного состояния и перспективы развития визуально-оптических методов и приборов неразрушающего контроля / И. В. Павлов, А. И. Потапов, Д. Н. Смирнов // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий : межвуз. сб. – СПб. : СЗТУ, 2001. – Вып. 3. – С. 179–185.

10. Волоконная оптика и приборостроение / М. М. Бутусов [и др.] ; под общ. ред. М. М. Бутусова. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 328 с.

11. Некоторые особенности информационного анализа и синтеза волоконно-оптических систем технологического контроля / С. С. Сергеев [и др.] // Вестн. МГТУ, 2006. – № 2 (11). – С. 164–168.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 06.02.2007

**S. S. Sergeev, A. P. Markov, O. S. Sergeeva,  
A. V. Konnov, E. V. Belyanco**  
**Transformation of initial information in physical  
and optical combine control and defectoscope**  
Belarusian-Russian University

There are structurally and algorithmically peculiarities of physical and optical transformations of initial information with combine utilization of effects of influence of radiation in nondestructive control and defectoscope are described. The analysis of specialties of transformation of initial information by physical and optical methods at point of view of ensuring of new possibilities of optical defectoscope and nondestructive testing was conducted.