

том «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных трубопроводах. РД. Госгортехнадзор России. Москва. 2000».

Заключение. Система PIMSlider позволит трубопроводной компании организовать единое информационное пространство, проводить комплексный анализ технического состояния, оценивать риски эксплуатации, рационально планировать ремонты. Система может быть использована и как сложный инструмент высококвалифицированных экспертов, и как специализированная информационная среда для персонала служб эксплуатации и высшего руководства.

PIMSlider реализует процедуры и подходы, описанные в группе стандартов ASME B31.8S.

В настоящее время система PIMSlider используется для оценки технического состояния всех своих газопроводов одним из крупнейших операторов газотранспортных сетей Европы – компанией Gasunie (Нидерланды), компанией SASOL GAS (Южная Африка) для всех магистральных газопроводов страны, газопроводов других, в основном европейских, операторов транспорта газа.

УДК 681. 586

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБ

С.С. Сергеев¹, А.П. Марков¹, А.В. Иванов², В.А. Левчук²

¹ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Беларусь,

²УП «Белгазпромдиагностика», Минск, Беларусь

Рассматриваются методы и средства визуально-оптической дефектоскопии труднодоступных поверхностей объектов трубопроводного транспорта на основе техники и технологий оптической интроскопии, включая линзовые и световодные эндоскопы, бороскопы и другие аппараты скопирования. Особое внимание уделяется системам видеоскопирования, отличающимся высоким уровнем автоматизации сканирования и микропроцессорной обработки первичной информации.

В условиях значительно усложняющейся техники трубопроводного и других видов транспорта, особое значение приобретают аппаратура и технологии оперативного контроля их текущего состояния. Ресурс работы, эксплуатационная надежность и технологичность объектов контроля огра-

ничены несовершенством конструкций, неравнопрочностью материалов по отдельным участкам, дефектами изготовления и сборки, нарушениями режимов и целым рядом других факторов [1].

Модернизация и реконструкция ряда производств с поэтапным переходом на более совершенные технологии представляет особую проблему информационно-технологической адаптации к реальному оборудованию и условиям эксплуатации.

В условиях периодических испытаний при монтаже и профилактических осмотрах при эксплуатации особое внимание уделяется анализу состояния и своевременному выявлению причин, обуславливающих появление различного рода дефектов и отказов. Установить имеющиеся разнообразные и многофакторные причинно-следственные связи в процессе разработки, доводки и испытаний новой техники и технологий весьма сложно и проблематично. В то же время ряд причин появления технологических отклонений, не поддающихся прогнозированию в условиях эксплуатации, обуславливают различные критические и аварийные ситуации.

Статистические методы создают возможность корректировки конструкторско-технологической документации и режимов работы, но существенно не решают проблемы эксплуатационной надежности. Применение статистических методов связано со значительными финансово-экономическими затратами и существенно увеличивает сроки испытаний, опытной эксплуатации и диагностирования.

С усложнением техники и технологий все большее значение приобретают аппаратное и методическое обеспечение контролеспособности транспортных объектов, в том числе и трубопроводных. В полевых условиях эксплуатации функциональная значимость аппаратного обеспечения существенно возрастает, так как текущие расходы на обнаружение и ликвидацию последствий эксплуатационных дефектов и отказов составляют внушительные размеры. К этому добавляются и проблемы экологической безопасности.

В совершенствовании аппаратных средств и решении задач обеспечения контролеспособности объектов трубопроводного транспорта объединяется весь комплекс физических воздействий и информационных взаимосвязей с учетом характерной пространственно-временной специфики таких объектов.

В информационно-метрологическом обеспечении контролеспособности особое значение имеет выбор методов, средств и технологий для мобильного оперативного контроля, макетных проверок, лабораторных и промышленных испытаний, апробации и сертификации.

Несовершенство приборного и метрологического обеспечения, конструктивные и эксплуатационные особенности объектов трубопроводного

транспорта ограничивают возможности оперативного применения техники и технологий неразрушающего контроля. Неразрушающий контроль решает информационно-дефектоскопические задачи методами визуализации изображений внутренних поверхностей. Но в любом случае весь алгоритм визуализации строится на физико-оптическом представлении визуального отображения реального состояния исследуемой зоны, адаптированного к оператору, требованиям и условиям эксплуатации.

Характерное для трубопроводного транспорта многообразие объектов дополняется повышенными требованиями к надежности и достоверности при разнообразии размеров и форм сопрягаемых внутренних поверхностей. Ими обуславливаются и соответствующие технологии, и средства аппаратно-технологического обеспечения дефектоскопии и диагностики. При этом могут статистически прогнозироваться виды и пространственное расположение отдельных дефектов с учетом их характера и причин возникновения (коррозия, пластические деформации, нарушения сплошности, экстремальный выход из допусков и т.д.).

В конструкции и материалах отражаются физико-технические особенности и физическая сущность происходящих в трубопроводных объектах явлений и процессов. Визуальное выявление таких зарождающихся отклонений предполагает операционное скопирование наблюдаемых участков труднодоступных поверхностей. То есть путем скопирования получается как бы фотографическое отображение реального состояния воспринимаемого среза в контролируемых пространственно-временных координатах.

Различные методы и средства визуального представления пространственно-временного распределения информационно-физических параметров контролируемой поверхности используют более эффективные излучения и их источники [2 – 4]. Однако более комфортными, биологически и эргономически адаптированными к зрительному восприятию являются оптические. Оптико-электронная интроскопия труднодоступных и невидимых невооруженным глазом внутренних поверхностей позволяет расширить диапазон практического применения дефектоскопии в технике и технологиях трубопроводного транспорта.

Структура оптической интроскопии определяется характером информационных процессов в технологическом контроле и дефектоскопии обследуемых объектов. При наблюдении оператором с помощью технических средств непосредственно воспринимается изображение рассматриваемого участка. Но при контроле и измерениях уже на первичном уровне выполняются простейшие информационно-преобразовательные операции.

Если наблюдение за объектом предполагает осмотр оператором заданного пространства и скопирование его поверхности, то при выполнении

контрольно-измерительных операций оптическое отображение копируемой зоны сопоставляется с эталоном (образцом) или с мерой физической величины. В большинстве современных технологий производится визуальный обзор с выявлением некоторых аномальных ситуаций, не предусмотренных нормативными требованиями (нарушения сплошности, обрывы тяг и проушин и т.д.).

Информационно-преобразовательные операции при контроле позволяют обработать копируемое изображение и путем простейших сравнений отклонений (размеров, форм, рельефа, цвета) по концептуальной модели дефектоскопировать воспринятое отображение поверхности. С помощью несложных оптических средств при контроле копируемое изображение приближается к оператору, чтобы он был в состоянии его воспринять и дать качественную оценку состояния и свойств обследуемого участка. В отличие от контроля при измерениях, в копируемое изображение вносится изображение меры, что позволяет количественно оценить характер воспринимаемого отклонения в абсолютном или относительном выражении.

Всякое копирование контролируемых объектов связано с выполнением операционно-поисковых и информационно-физических действий.

При выполнении контрольно-измерительных операций в некотором пространственно-временном распределении выявляются специфические зоны, участки, диапазоны с наличием определенных или неопределенных технологических отклонений, и за счет «копирования» их изображений имеется возможность дальнейшей локализации, дистанцирования и отображения этой «копии» в формализованном виде, приближенном к получателю (потребителю).

Особую сложность в копировании изображений (отображений) материальных объектов представляют труднодоступные поверхности сложно-профильных полостей (каналов), крупногабаритные и длинномерные изделия с изгибами и ответвлениями, которые создают дополнительные трудности в решении задач копирования. Но в любом случае система копирования должна быть адаптирована к реальным условиям и реальным объектам, чтобы эффективно выявлять и достоверно оценивать зарождающиеся отклонения в их нормированных пространственно-временных координатах и свойствах.

Возможности современных методов и средств оптической интроскопии ограничены структурой каналов по преобразованию и передаче оптических излучений. Жесткость линзовых смотровых приборов и гибкость волоконно-оптических эндоскопов определяют их технологические возможности в дефектоскопии объектов трубопроводного транспорта. Если

линзовые смотровые трубки обеспечивают хорошее разрешение на расстояниях до 10 метров, то технологии световодов при своей гибкости конструкции ограничивают длину (1...5 м) и разрешающую способность средств оптического скопирования (50...2,0 лин/мм). Однако сверхтонкими световодными аппаратами можно осмотреть поверхности с малыми размерами отверстий и криволинейными каналами прохода приемной части к требуемым зонам.

Промышленные фиброскопы с дистанционным управлением продвижения приемника изображения позволяют проникать по весьма сложным извилистым траекториям и даже до таких участков, которые были бы недоступны без частичной или полной разборки контролируемого объекта.

Современная техника и технологии оптического интроскопирования располагают большим арсеналом промышленных устройств, отличающихся функциональным назначением, массогабаритными параметрами, уровнем автоматизации и стоимостью (рис. 1).

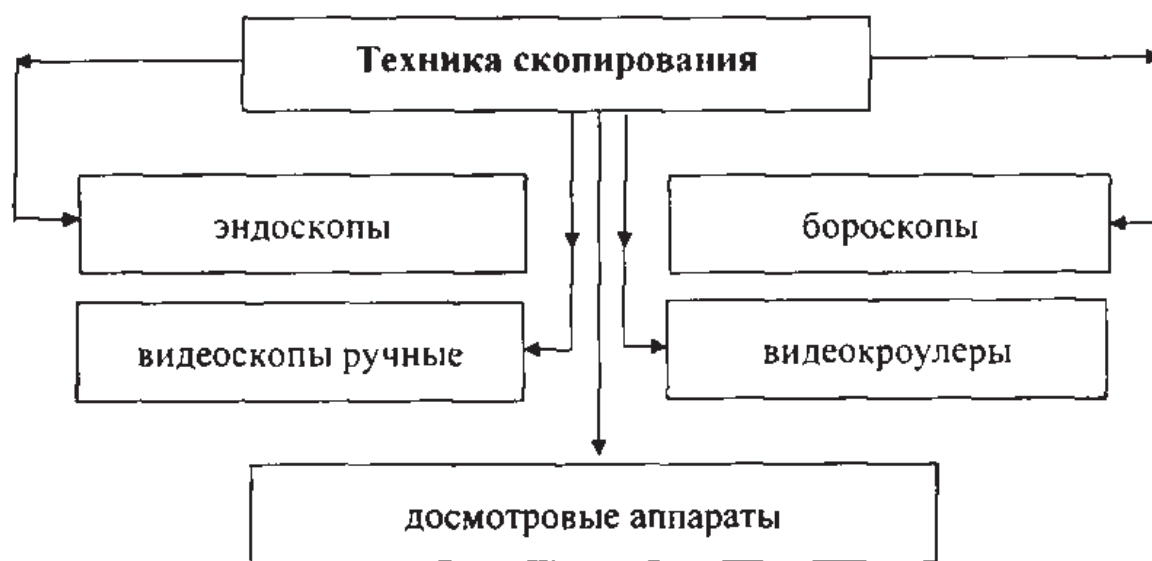


Рис. 1. Типы промышленных устройств оптического интроскопирования

Бороскопы (фокусирующие) и минибороскопы характеризуются встроенными фокусирующими устройствами, позволяющими получать резкое изображение от крупного плана до бесконечности.

Многообразие типов и конструкций промышленных устройств обеспечивает многофункциональный выбор средства применительно к задачам осмотра и анализа через технологические каналы ограниченных сечений (лючки размером менее 1,7 мм).

Автономные блоки питания повышают мобильность эндо-, боро-, и фиброскопов, а наличие всевозможных принадлежностей (фото- и кино-

техника) позволяет документировать изображения контролируемых поверхностей.

Разновидностью средств оптического скопирования являются электронно-оптические приборы. В структуре электронно-оптических эндоскопов предусматривается персональный компьютер, воспринимающий отображение наблюдаемого места через тонкий зонд. С гибкого зонда цветное изображение дистанцируется на миниатюрную цифровую ПЗС-камеру с автоматическим фокусированием. Встроенная в гибкий зонд ПЗС-камера воспринимает отображение недоступных для невооруженного глаза мест в реальном времени. Световодная подсветка с регулируемой яркостью создает эффективную освещенность без искажений в цветопередаче. Проложенный внутри зонда кабель обеспечивает питание камеры, подсветку наблюдаемого места и передачу изображения через интерфейс на компьютер. За счет адаптера-насадки изменяется угол обзора от прямого до 135 град. Таким путем обеспечивается визуальный контроль, например, клапанов механизма газораспределения четырехтактного двигателя и верхней части камеры сгорания.

Для вывода и обработки изображений имеется программное обеспечение, совместимое с операционной системой Windows. В режимах управления предусматривается также и ручное управление изображениями: ручная регулировка яркости (усиление) и время экспозиции. Манипуляции изображением обеспечивают выполнение операции стоп-кадр одной кнопкой с полным или разделенным экранами. В некоторых системах предусматривается контроль артикуляции во всех направлениях: управление/остановка, «Номе», плавно или грубо. Управление источником излучения, обновление программы, в том числе и в полевых условиях, а также дистанционное управление скопированием улучшает эргономики и культуру обслуживания таких средств [5, 6].

В настоящее время бурно развиваются методы и средства оптической видеоскопии. Их дистанционные и телеметрические возможности значительно превосходят характеристики технической эндоскопии. Существующие способы видеоскопирования основаны на пространственно-временной взаимосвязи операций воздействия излучения на материальную поверхность, формирование и локализацию изображения наблюдаемой зоны, каналирование и передачу на расстояние, отображение и программно-алгоритмическую обработку в реальных или фиксируемых пространственных координатах. Такие способы оптического скопирования предполагают непрерывное пространственное сканирование материальной поверхности с масштабированием и микропроцессорной обработкой.

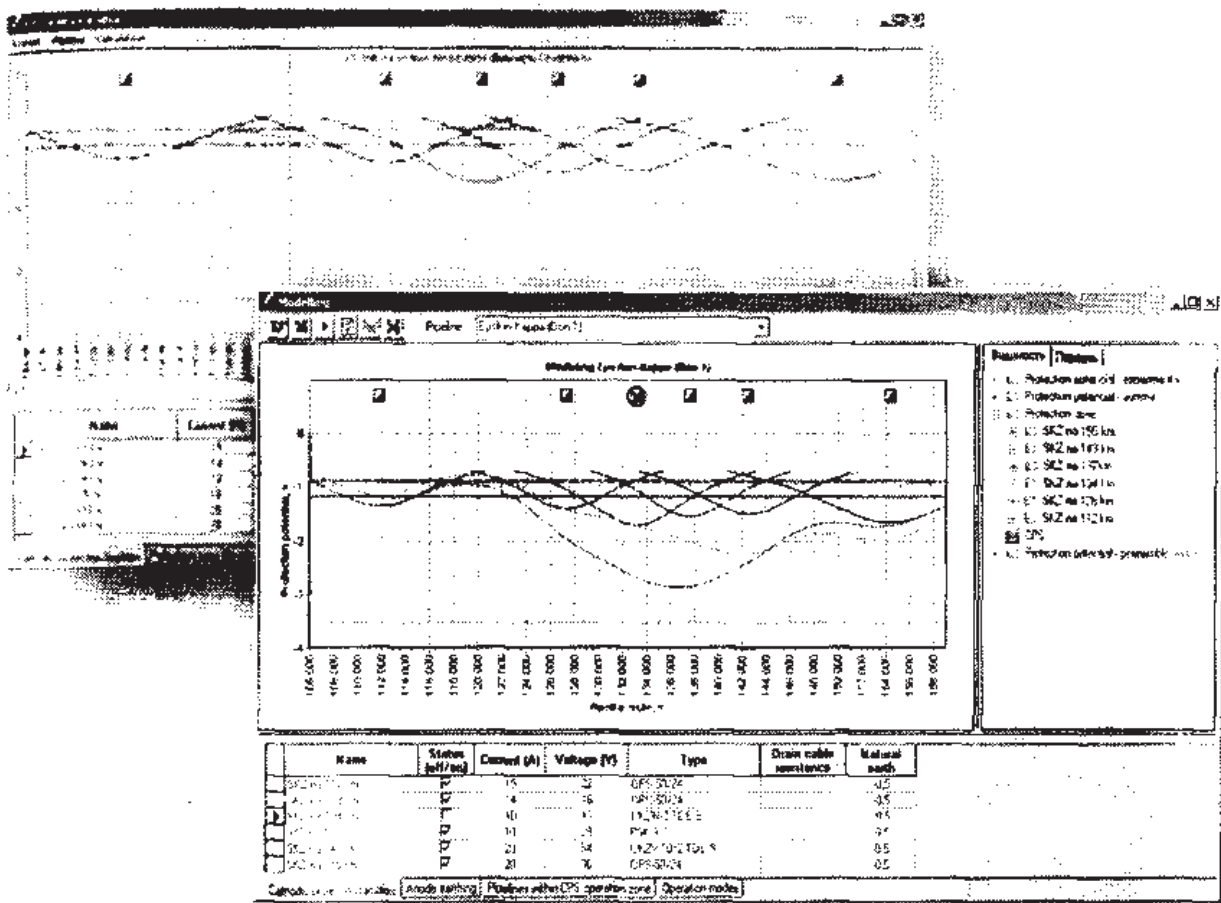


Рис. 3. Моделирование режимов работы системы катодной защиты

Оценка дефектов в *InPipe* (которые были обнаружены внутритрубным снарядом) основана на научных концепциях механики разрушения.

InPipe поддерживает расчет остаточной прочности трубопровода (рис. 4), определяемого различными стандартами: ANSI/ASME B31G-1991 и стандарт Gasunie.

Вышеуказанная функциональность по интерпретации двоичных данных позволяет проводить автоматический расчет остаточной прочности, используя менее консервативный метод, который по своей сути приближается к расчетам Rstreng. Это позволит получить экономию средств путем разработки программ отложенных ремонтов наряду с поддержанием требуемого уровня безопасности трубопровода.

Модуль *InPipe* является уникальным средством, дающим возможность оператору иметь оперативный доступ к данным, удобно их просматривать, определять проблемные области и переключаться на крупный план просмотра выбранных дефектов.

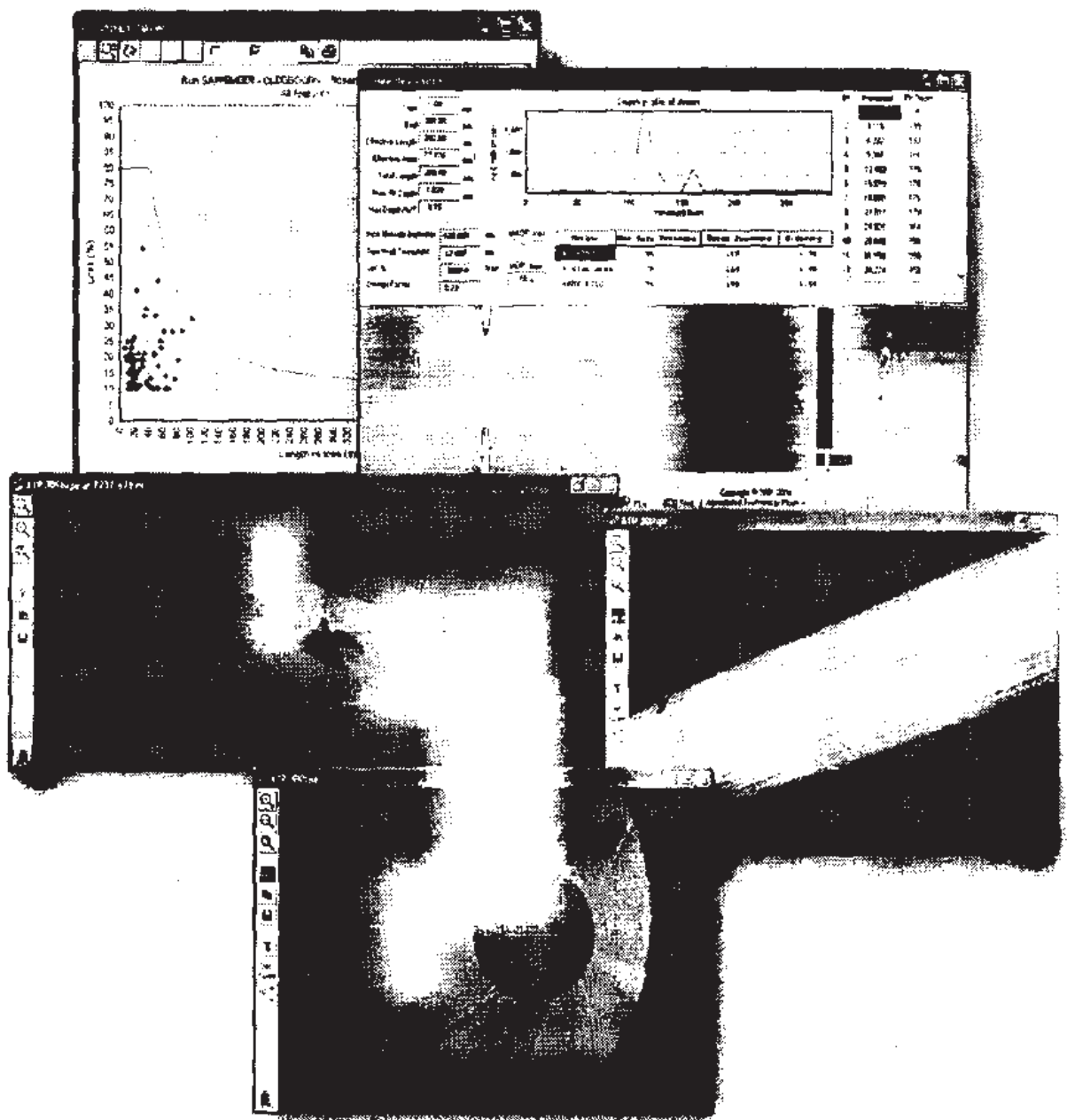


Рис. 4. Остаточная прочность трубопровода

Rehabilitation Expert обеспечивает формирование стратегии ремонтов по данным внутритрубных обследований на основании линейной модели роста коррозии и используемых у Заказчика стандартов механики разрушений.

Наиболее востребованной функцией программы Rehab является возможность сравнения пропусков, последовательно проведенных на одном участке (рис. 5).

гонка, offshore, химическая, нефте- и газотранспортировка, судоходство, таможенных и других органах [5, 6].

Достоверность и производительность визуального эндо- и видеоскопирования в большей мере зависит от того, насколько адаптированы эти средства и технологии непосредственно к условиям эксплуатации объектов трубопроводного транспорта. Как сечения, форма (рельеф) поверхности, так и ее состояние влияют на отражательную способность и проявляемость нарушений сплошности и, в конечном итоге, снижают выявляемость потенциальных дефектов оптико-электронной системой визуализации.

Методами сканирования и стробирования расширяются функциональные возможности и улучшаются тактико-технические характеристики эндо- и видеоскопов, что особенно значимо при использовании современной элементной базы оптико-электронной и микропроцессорной техники.

Комплексное (системное) объединение преимуществ с учетом ограничений современных средств и технологий позволяет эффективно решать задачи технологического контроля внутренних поверхностей на основе комбинированных, адаптивных к условиям и параметрам объектов транспортного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техника и технологии оптической визуализации внутренних поверхностей труб / С.С. Сергеев [и др.] // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2007. – С. 186 – 188.
2. Сергеев, С.С. Волоконно-оптические системы технологического контроля динамических объектов: моногр. / С.С. Сергеев, А.П. Марков, В.В. Коннов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 193 с.
3. Соснин Ф.Р. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 1: Визуальный и измерительный контроль. – 560 с.
4. Неразрушающий контроль: в 5 кн. / Б.Н. Елифанцев [и др.]; под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992. – Кн. 4: Контроль излучениями: практ. пособие. – 321 с.
5. Плетнев, С.В. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии: справ. пособие / С.В. Плетнев, А.И. Поталов, А.П. Марков. – СПб.: ЛИТА, 2001. – 312 с.
6. Бычков, О.Д. Контроль внутренних поверхностей / О.Д. Бычков. – М.: Энергия, 1975. – 120 с.