

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).

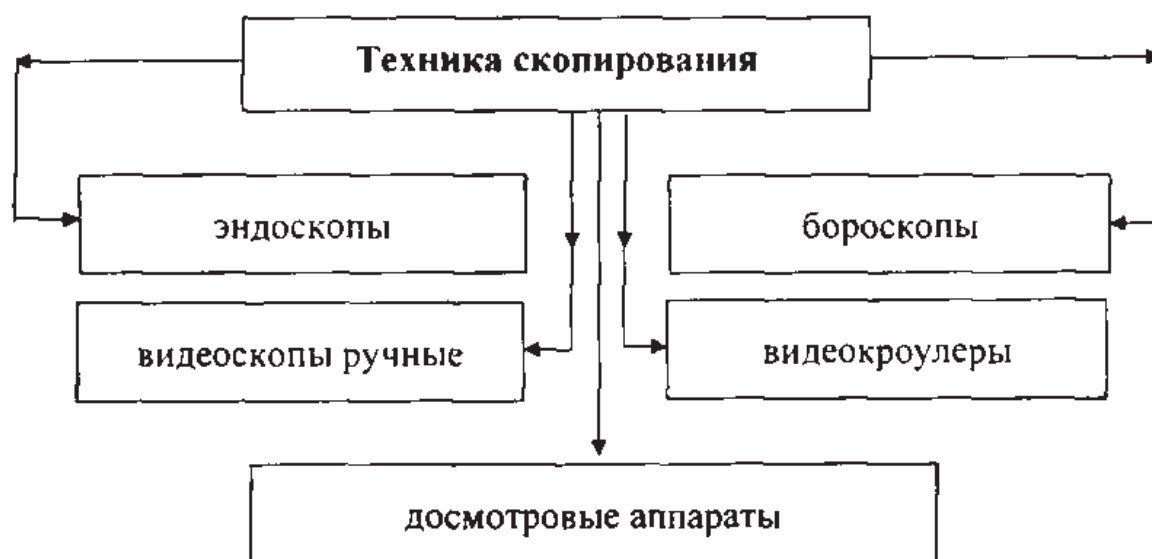


Рис. 1. Типы промышленных устройств оптического интроскопирования

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.

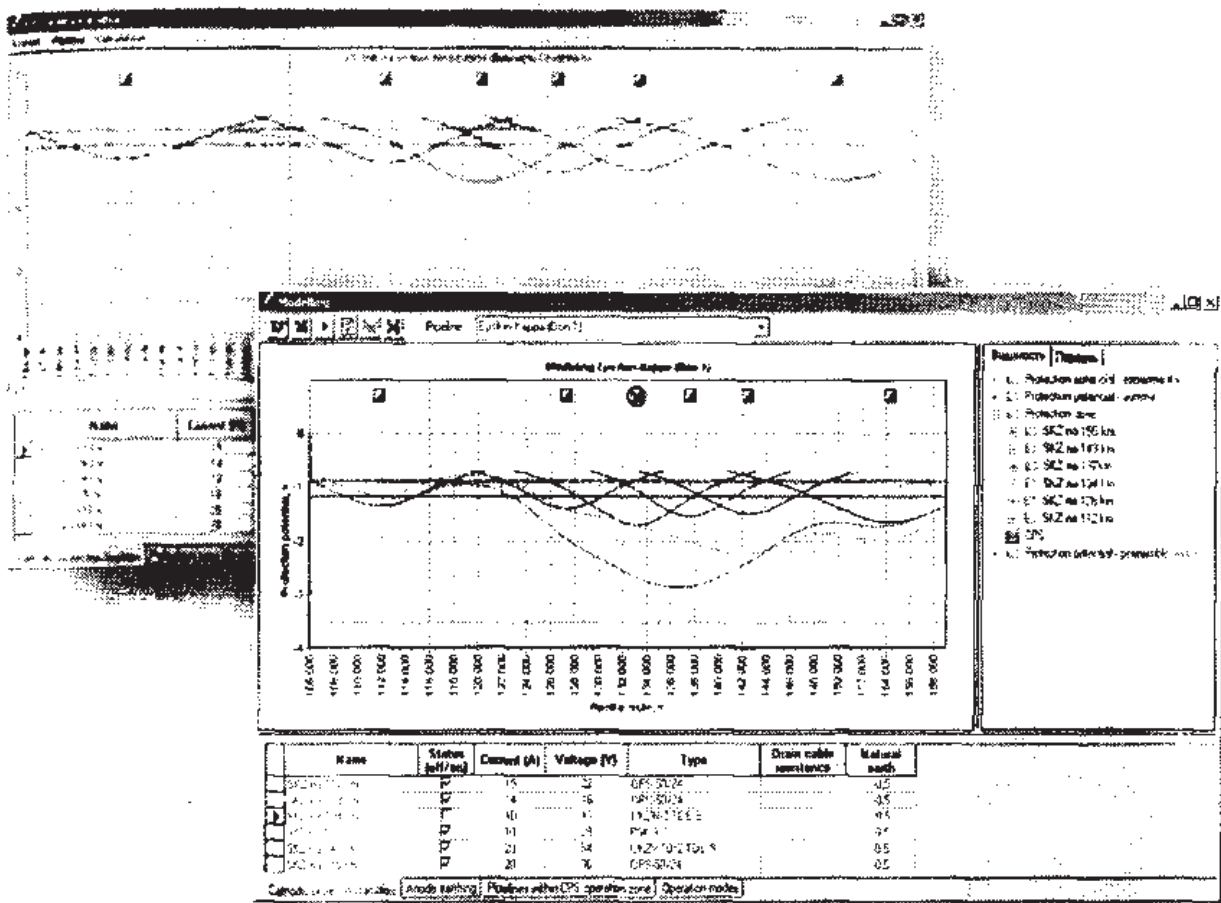


Рис. 3. Моделирование режимов работы системы катодной защиты

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.

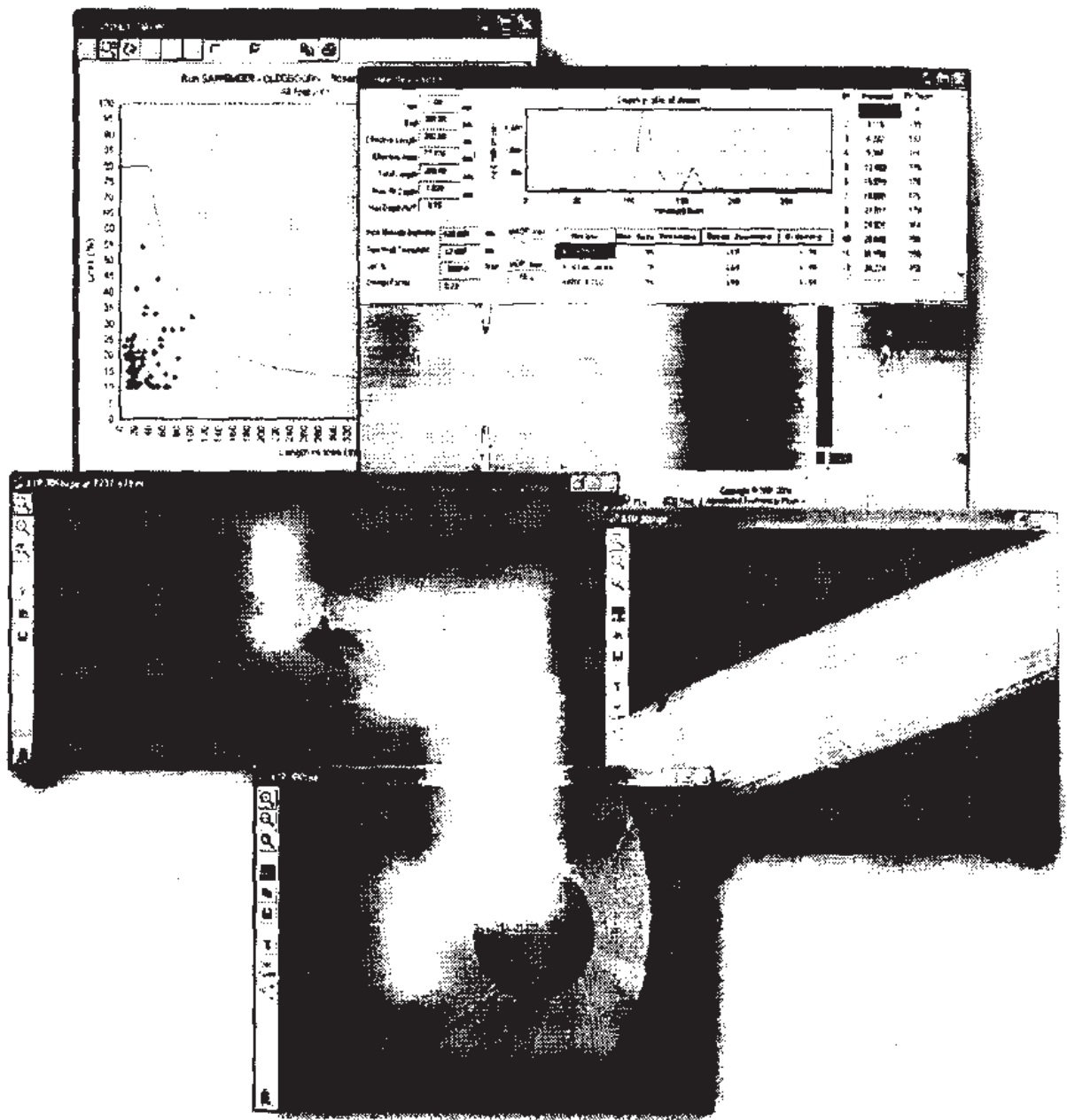


Рис. 4. Остаточная прочность трубопровода

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.