

## **PIMSLIDER – СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ТРУБОПРОВОДА. ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ, ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ**

**И.Р. Махкин**

*ЗАО «Нефтегазсистема», Гомель, Беларусь*

**Введение.** Главной и первостепенной задачей трубопроводной компании является обеспечение безопасной и надежной работы системы трубопроводов при наименьших затратах на поддержание жизненного цикла. Важным компонентом в обеспечении успешного выполнения этой задачи является наличие необходимой информации, компетентность и средства для *интегрированной обработки информации* на всех этапах процесса управления целостностью системой трубопроводов (Pipeline Integrity Management System (PIMS)). В данном случае и приходят на помощь информационные технологии.

**Цели PIMS.** Система PIMS должна продемонстрировать компетентным органам власти тот факт, что предпринимаются адекватные *управленческие и организационные мероприятия* в целях предотвращения и контроля аварий, ограничения их последствий для человека и окружающей среды, а также для доказательства наличия надлежащего планирования на случай чрезвычайной обстановки. Кроме того, система должна продемонстрировать, что *техническая безопасность и целостность всей системы* была достигнута путем надлежащего проектирования системы трубопроводов, эксплуатации оборудования, технического обслуживания и инспекций, основанных на согласованных высоких технических стандартах и нормах. Все эти виды стратегий, основанных на документах (бумажных носителях), сейчас готовы к внедрению в реальную систему контроля технологических процессов.

*Цели системы PIMS:*

- ежегодное подтверждение органам власти Лицензии на эксплуатацию с учетом остающихся угроз и проведенных за конкретный год мероприятий;
- доказательство и демонстрация фактической целостности путем проведения сравнения с предыдущими периодами времени;
- генерирование информации (путем легко проверяемых процессов) для отдела безопасности (как части внутреннего процесса верификации) и для компетентных органов власти;
- улучшение уровней качества и конфиденциальности используемых данных, так как они могут контролироваться из одного источника и, при

необходимости, распределяться по всей системе. Процессы должны быть прозрачными для каждого пользователя, что приведет к улучшению удобства сопровождения и непротиворечивости данных;

- возможность дифференцирования применяемых измерений и мероприятий для всей сети трубопроводов в зависимости от критериев и ключевых индикаторов производительности.

В целях решения этих задач разработана представляемая система PIMSlider, которая используется в настоящее время такими компаниями, как Gasunie (Нидерланды), SASOL GAS (ЮАР), Geoplin (Словения), RWE Transgas (Чешская республика), TOTAL TIGF (Франция).

**Состав системы PIMS.** Система контроля PIMS состоит из интерфейсов, баз данных, алгоритмов и критериев контроля, а также интерфейса «человек – машина» для работы с системой.

Система имеет простую и прозрачную внутреннюю структуру. Все данные о трубопроводе, включая информацию о конструкции, расположении, данные разнообразных инспекций и обследований, результаты расчетов и моделирования, хранятся в единой базе данных. База данных совместно с интерактивными интерфейсами, позволяющими эти данные просматривать и анализировать, составляют информационно-поисковую подсистему.

*Управление данными:*

- Вся информация о трубопроводах хранится в реляционной базе данных.
- Трубопровод и «особенности» на нем (задвижка, кожух, пересечение, дефект и т.д.) хранятся как отдельные объекты. Все объекты имеют регулируемый набор специфических атрибутов. Пользователь может получить информацию по любому объекту трубопровода из таблицы, либо непосредственно с карты.

- Поддерживается ручной ввод, хранение, редактирование и извлечение всех данных.

- Поддерживается загрузка разнородной цифровой информации:

- данные внутритрубных обследований (Flaw List – отчет о дефектах и Raw Data – двоичные данные);

- измерения ЭХЗ;

- наземные измерения на трубопроводе, включая функцию привязки этих данных к соответствующему положению трубопровода (координаты географической карты) или объектам трубопровода;

- другие данные, необходимые для проведения анализа состояния трубопроводов и представленные в цифровом виде.

- Доступ к данным и их анализ осуществляется при помощи полностью синхронизированных графических интерфейсов, таких как программы просмотра таблиц карт и графиков.

- Пользовательские запросы – пользователь может осуществить выборку необходимой информации из базы данных путем самостоятельного построения запросов, например, следующего типа:

- перечень всех пересечений с дорогами (или железными дорогами) без кожухов и предупредительных знаков, где глубина залегания трубы не превышает 0,8 м;

- перечень всех мест, где присутствуют дефекты определенного типа и минимальное расстояние до зданий не отвечает требованиям стандартов.

Контроль целостности трубопроводов осуществляется аналитической подсистемой, которая представляет собой расширяемый набор приложений (программ), объединенный общей базой данных, едиными методами доступа к информации, ее представления.

При этом выполняется анализ результатов внутритрубных инспекций:

- выполняется оценка механической прочности (B31G, RSTRENG);
- поддерживается выбор участка поверхности трубопровода для проведения исследования и учитывается влияние близости дефекта на остаточную прочность сегмента трубопровода.

*Анализ дефектов:*

- Создается 3-х мерное изображение любых дефектов на основе двоичных данных внутритрубного обследования.

- Расчет скорости роста дефектов по результатам последовательных инспекций.

- Прямые измерения – оценка дефекта с использованием метода конечных элементов. При этом используются файлы, полученные при прямом измерении геометрии дефекта.

- Моделирование – анализ предельных значений для определения устойчивости при ухудшении условий эксплуатации трубопровода или непрерывной эксплуатации, принимая в расчет текущие или будущие условия эксплуатации.

- Оптимальный ремонт – автоматическое составление перечня необходимых ремонтов, который используется для оценки стоимости и ресурсов.

*Анализ состояния катодной защиты:*

- Определяется степень потенциальной коррозионной опасности для любой секции трубопровода с учетом влияния агрессивной среды, отрицательных антропогенных факторов, типа изоляции, сопротивления грунтов и др.

- Определение защищенности по протяженности и во времени.

- Определение состояния изоляционного покрытия – при наличии результатов детальных обследований трубопровода (измерения шаговых потенциалов, измерения приборами UpScan, MoData).

- Моделирование режимов работы СКЗ путем изменения силы тока, потенциалов в точках дренажа.

- Сопоставление с данными внутритрубных инспекций и других видов обследований.

*Оценки рисков:*

- Выполняется анализ опасности теплового повреждения (взрыва) трубопровода с учетом распространения дисперсионного шлейфа.

- Оценка последствий повреждения в любой точке трубопровода с учетом расстояния до зданий, плотности населения.

- Выполняется оценка относительного, индивидуального и социального рисков в любой точке магистрали трубопровода.

- Определение приоритетов зон риска.

Результаты работы аналитической подсистемы являются основой для работы подсистемы принятия решений. Эта подсистема предназначена для экспертов в области целостности трубопроводов и обеспечивает выбор оптимальной стратегии проведения ремонтов трубопровода, определение периодичности их обследования. При этом учитываются следующие данные:

- Механическая прочность. Учитываются как дефекты, обнаруженные при внутритрубных инспекциях, так и при шурфовании трубопровода.

- Степень коррозии в расчете на дефект.

- Минимально требуемая механическая прочность.

- Экономические критерии (затраты).

- Расходы на проведение инспекций по типам (изыскания, внутритрубное обследование).

- Стоимость ремонта в расчете на дефект.

- Стоимость замены трубопровода.

- Штраф в случае аварии.

- Штраф за утрату контракта.

- Представление сопутствующих расходов предприятия.

- Экономические критерии (экономия):

- экономия от отложенных ремонтов;

- экономия на расходах на проведение инспекции вследствие своевременного (раннего) ремонта;

- экономия на расходах на ремонт вследствие проведения своевременной (ранней) инспекции;

- экономия на общих расходах на техническое обслуживание вследствие своевременной замены оборудования. Предварительно определенных уровней риска, которые влияют на предпочтительность момента ремонта.

При выборе метода ремонта учитываются обеспечение сохранения необходимой нагрузочной способности трубопровода с минимальной стоимостью ремонта.

**Программное обеспечение.** PIMSlider – это пакет программ, предоставляющий следующие возможности по контролю за состоянием трубопроводов:

- Управление данными.
- Базовая ГИС-функциональность.
- Навигация – обеспечивает навигацию вдоль трубы, подсвечивает объекты трубопровода (включая сам трубопровод) на карте и показывает атрибутивные значения этих объектов.
- Позиционирование – может представить детальную информацию о выбранном с карты объекте. Поддерживает функцию одновременного измерения масштаба изображения карты и других графических окон.
- Расстояние – обеспечивает расчет расстояния между 2 точками, выбранными пользователем на карте.
- Координаты – рассчитывает координаты (в координатах GIS) в любой точке карты в зависимости от положения курсора на карте.
- Дистанция – рассчитывает значение «дистанции» по трубе в зависимости от положения курсора на трубопроводе.
- 3D-изображение – может представлять систему трубопроводов в 3-х мерном изображении, включая такие функции, как скролинг, масштабирование и вращение; объекты на трубопроводе, включая дефекты, представляются в 3-х мерном изображении согласно угловому положению, указанному в отчете.
- Функции поиска – можно использовать для нахождения местоположения на карте. Например, поиск по почтовому индексу, кодам объектов или номеру чертежа и позиционирование по определенным координатам X, Y и GPS.
- Увеличение/уменьшение масштаба изображения до карты с общим видом страны.
- Мониторинг, анализ и моделирование системы катодной защиты (включая вопросы, связанные с блуждающими токами).
- Анализ данных внутритрубного обследования, используя либо Flaw List (перечень дефектов), либо двоичные данные; сравнение внутритрубных инспекций, проведенных в разное время (и возможно, разными исполнителями) по одному участку трубопроводов.
- Оценка дефекта (механика разрушений, например B31G, RSTRENG, стандарт Gasunie).
- Расчеты рисков (индивидуального и социального) и представление уровней риска всех трубопроводов.

- Установление приоритетов проведения инспекций, исходя из контуров риска.
- Расчет целостности трубопроводов, на которых невозможно проводить внутритрубные обследования, с использованием технологии Direct Assessment (DA).
- Оценка экономических вопросов (расчет остаточного ресурса, оптимизация жизненного цикла).

Программное обеспечение PIMSlider включает в себя следующие модули:

*Slider4PIMS* – обеспечивает хранение всех данных, относящихся к трубопроводу: координаты трубопровода, профиль, пересечения, грунты, запорная арматура, плотность населения вдоль трассы трубопровода, средства и обследования ЭХЗ, данные внутритрубной диагностики, статистика по ремонтам и авариям, мультимедийные документы (фотографии, схемы, чертежи и т.д.); поддерживает механизм многокритериальных запросов для доступа к базе данных и имеет развитые средства визуализации, графической интерпретации информации и генерации отчетов (рис. 1).

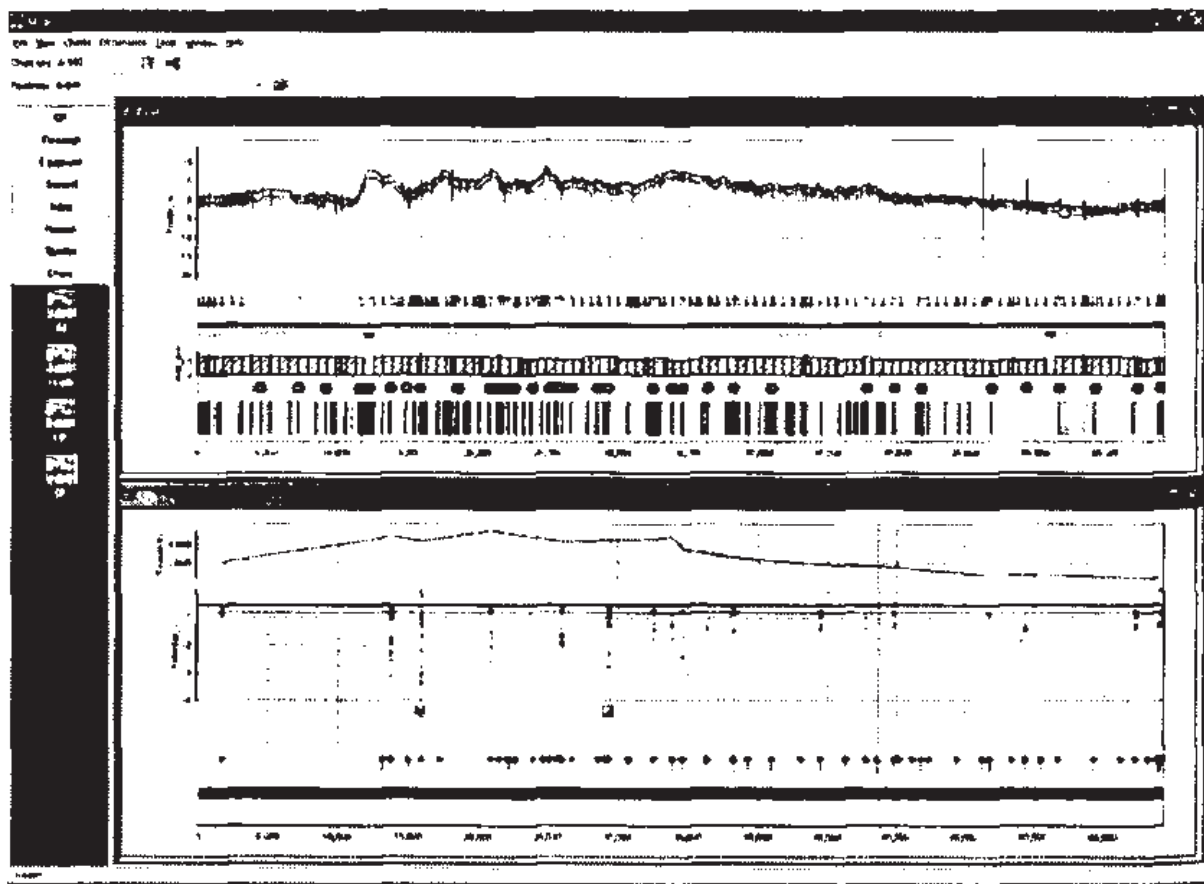


Рис. 1. Графическая интерпретация объектов трубопровода

*Slider4PIMS* используется для ввода, отображения, поиска, и изменения информации. Программа связывает между собой данные, полученные из различных источников, таких как геодезические съемки, данные внутритрубного снаряда и замеры потенциалов ЭХЗ. Оператор может отслеживать связи между различными фактами и цифрами, а также планировать свою деятельность (обследования, ремонт, техническое обслуживание) исходя из комплексного анализа всей информации, хранящейся в системе. Это позволяет оператору проводить интегрированный анализ имеющихся данных, обнаруживать скрытые тенденции и принимать решения в части эксплуатации трубопровода.

*PipeSafe Lite (PSL)* – прошедший международную сертификацию пакет программного обеспечения количественной оценки рисков и опасностей (рис. 2), основанный на подходах PipeSafe (технология расчетов рисков для газопроводов, разработанная группой международных газотранспортных компаний). При задании таких параметров, как диаметр трубопровода, толщина стенки, тип материала, рабочее давление и глубина залегания, модуль рассчитывает частоту возникновения аварии на конкретном трубопроводе.

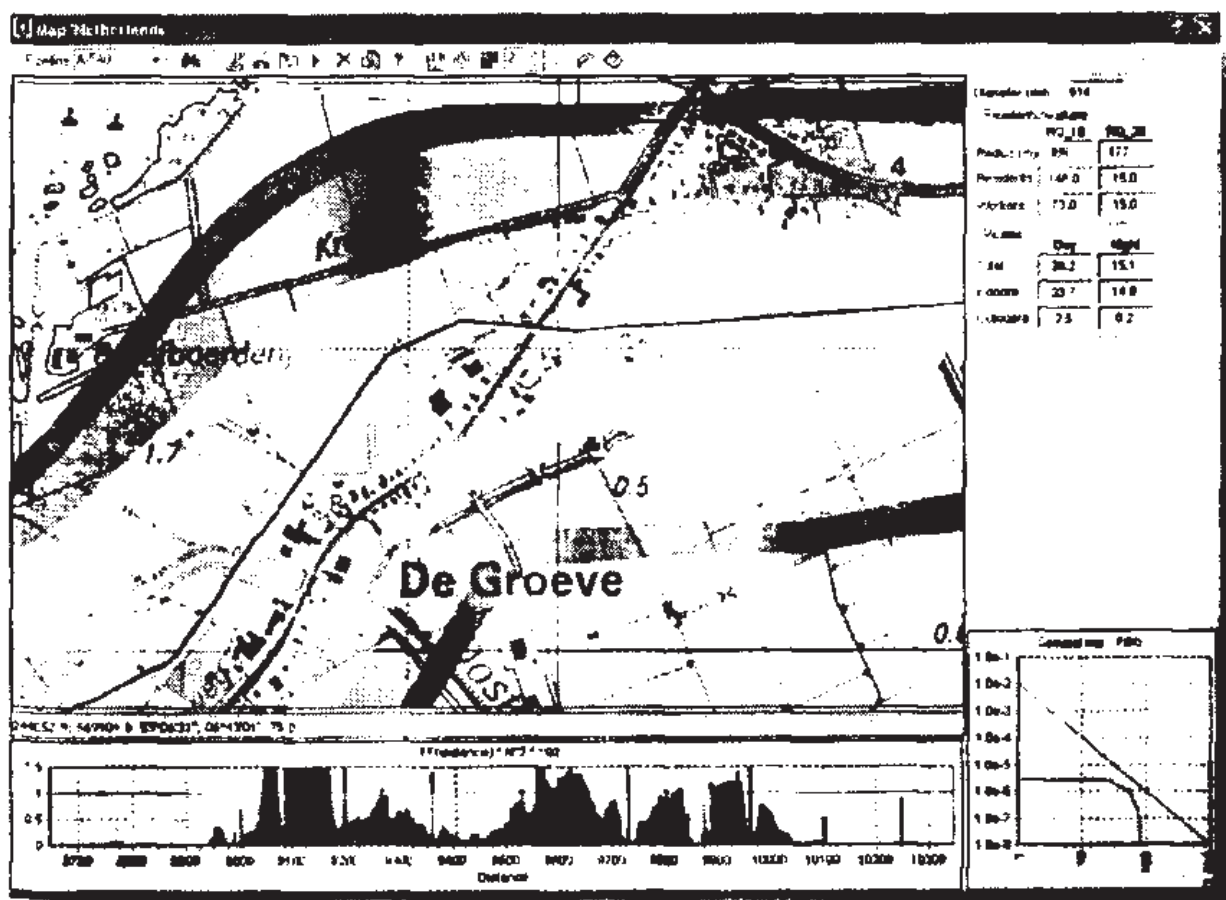


Рис. 2. Оценка частоты возникновения аварий

*PSL* – рассчитывает летальность и значение риска (учитывая частоту возникновения аварий), используя географическую структуру в окрестностях трубопровода и демографическую информацию (расположение и тип зданий, количество присутствующих людей).

Выход *PSL* поддерживается географическими представлениями трассы трубопровода, включая контуры риска. Подсвечиваемые места (или полные трубопроводы), где превышены предварительно заданные цифры риска, дают возможность инженеру выявить причину определенной проблемы и предложить различные решения ее преодоления.

*Индивидуальный риск (IP)* зависит от частотности аварий и последствий воспламенения вследствие разрыва трубопровода.

Последствия для населения рассчитываются в соответствии с CPR 16E (Методика определения возможного ущерба, 1992) и CPR 18E (Руководство по количественной оценке риска 1999).

Частотность аварий зависит от диаметра, толщины стенки трубы, типа стали, ударной вязкости по Шарпи (на образцах с V-образным надрезом), внутреннего давления, защитных мероприятий и глубины залегания.

Контур  $IP 10^{-6}$  (требование законодательства) строится вдоль трассы трубопровода (внутри этих контуров можно видеть здания).

*Социальный риск (SP)* определяется как частотность  $F$  из  $N$  или более смертельных исходов на км в год. Рассчитывается в соответствии с CPR 16E (Методика определения возможного ущерба, 1992) и CPR 18E (Руководство по количественной оценке риска, 1999).

*CM-Expert* дает возможность оператору проводить оценку коррозионной обстановки вдоль трассы трубопровода с учетом влияния агрессивной среды или отрицательных антропогенных факторов, вскрывать опасные тенденции при определении уровня защищенности трубопроводов и анализировать эффективность существующей системы катодной защиты с использованием режима моделирования ее параметров (рис. 3).

*InPipe* – модуль, предназначенный для анализа любых видов дефектов трубопровода и других особенностей на основании данных, представляемых внутритрубными снарядами различных фирм. Во-первых, решается задача привязки дефектов, что обеспечивает точное позиционирование данных внутритрубного снаряда на трехмерной модели трубопровода. Динамическое растягивание/сжатие данных внутритрубного снаряда обеспечивает достаточно реальное соответствие положения всех особенностей на существующем трубопроводе.



Реализация оптического скопирования такими способами наряду с информационно-технологическими преимуществами отличается существенными информационно-физическими ограничениями.

Для видеоскопической техники с ее пространственными возможностями визуального контроля и дистанцирования изображений на большие расстояния особую проблему составляет синхронное продвижение видеоприемника и излучателя внутри протяженных и изогнутых полостей. При этом дистанционная ориентация приемника изображений должна обеспечивать оперативность управления как процессами ориентации в ограниченном пространстве, так и спектрально-энергетическими параметрами излучателя и всей системы видеоскопирования, в том числе контроль за манипуляцией изображениями, артикуляцией, операциями, обновлением программ и т. д.

В современных видеоскопах с ручным управлением и видеокроулерах с автономными приводами применяются различные приспособления для контрактного перемещения приемника изображения и излучателя относительно контролируемой поверхности (рис. 2).

Для панорамной ориентации приемника изображения и осветителя используются разнообразные центрующие устройства с набором сменных насадок (рис. 2, а). В отдельных конструкциях видеокроулеров подвижное шасси с приводными роликами дополняется устройством ориентирования приемника и излучателя. С помощью такого устройства приемник с излучателем могут синхронно осуществлять возвратно-поступательное перемещение с некоторым поворотом для бокового осмотра.

Для контроля протяженных изделий с изменяющимися профилями приемник и излучатель базируются на самодвижущейся тележке с приводными роликами и шарнирно подпружиненными ползьями с упорными роликами (рис. 2, б).

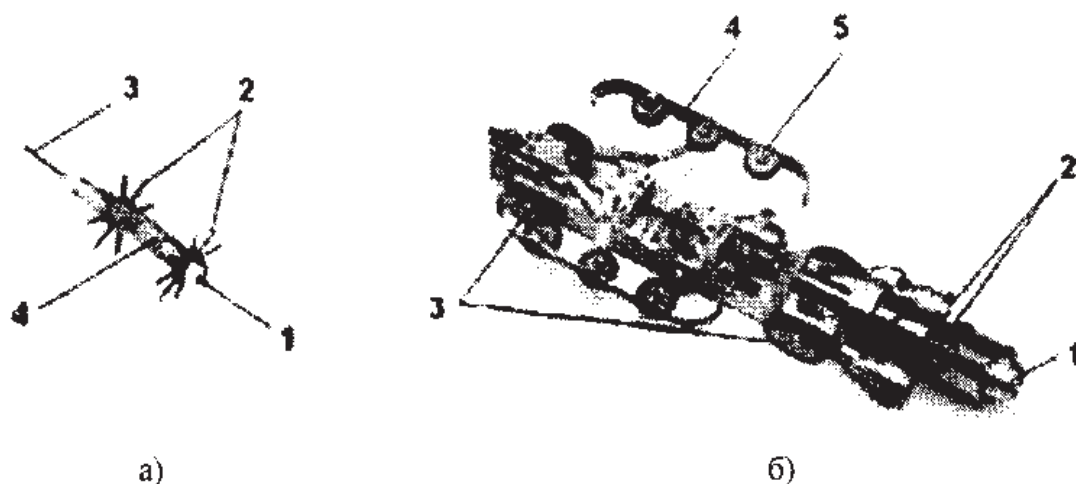


Рис. 2. Конструктивные схемы механизмов видеокроулеров

Разрабатываемые и производимые Белорусско-Российским университетом совместно с УП «Белгазпромдиагностик» системы визуального контроля адаптированы к специфике объектов трубопроводного транспорта.

Основополагающий принцип «три в одном» обеспечивает некоторую многофункциональность применительно к скопированию внутренних поверхностей протяженных изделий, пространств, вертикальных шахт и колодцев, досмотра транспортных средств, тары и внутренних полостей с целью быстрого поиска скрытого содержимого для ряда специальных целей.

Блочно-модульное исполнение устройств единой системы оптического скопирования позволяет реализовывать различные комбинации видеоскопов применительно к задачам потребителя (рис. 3).

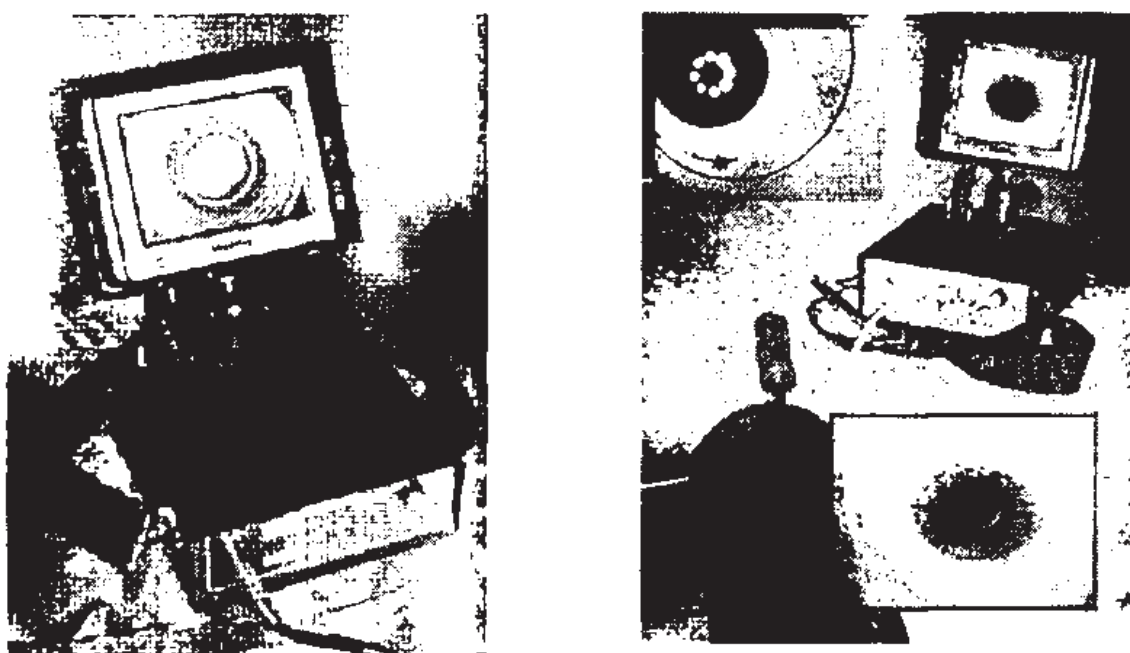


Рис. 3. Общий вид устройств отображения многоцелевых видеоскопов

Три типа видеомодулей оснащены гибким кабелем, полужестким кабелем или телескопической штангой, что позволяет видеоскопировать поверхности различных по габаритам и конструктивному исполнению изделий.

Наряду со специфическими системами скопирования объектов трубопроводов, средства визуального осмотра и наблюдения находят применение для оперативного контроля теплообменников и отопительных систем, парогенераторов и турбин, танкеров и судов, объектов различных видов транспорта, холодильников и рефрижераторных систем сборных пунктов промышленных сетей трубопроводов. Особую эффективность обеспечивают техника и технологии скопирования в авиационной и космической промышленности, энергетике, перерабатывающей промышленности: пере-

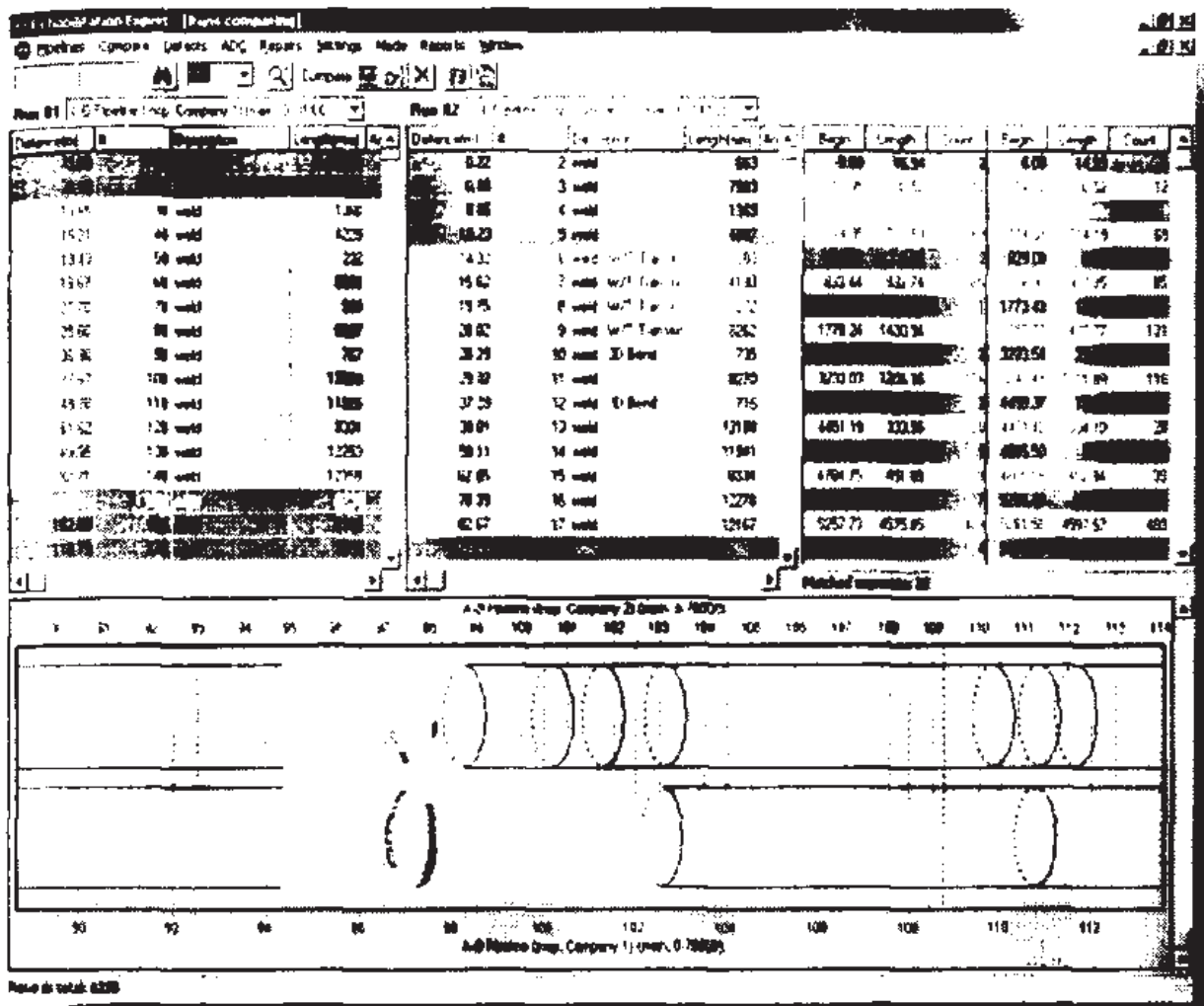


Рис. 5. Сравнение пропусков

Любой специалист, занимающийся анализом данных внутритрубной инспекции, имеет представление о том, сколько усилий требует работа по сравнению двух наборов дефектов, число которых может достигать нескольких тысяч.

Поскольку скорость роста коррозии является ключевым фактором для определения временного интервала между проведением инспекций, указанная функциональность модуля Rehab (которая значительно улучшает точность значений скорости роста коррозии) дает возможность оператору оптимизировать экономические аспекты своей программы инспекций, что в свою очередь позволяет сэкономить значительные денежные средства.

Выбор надлежащей программы ремонта будет соответствовать правилам, определяемым самим пользователем (рис. 6).

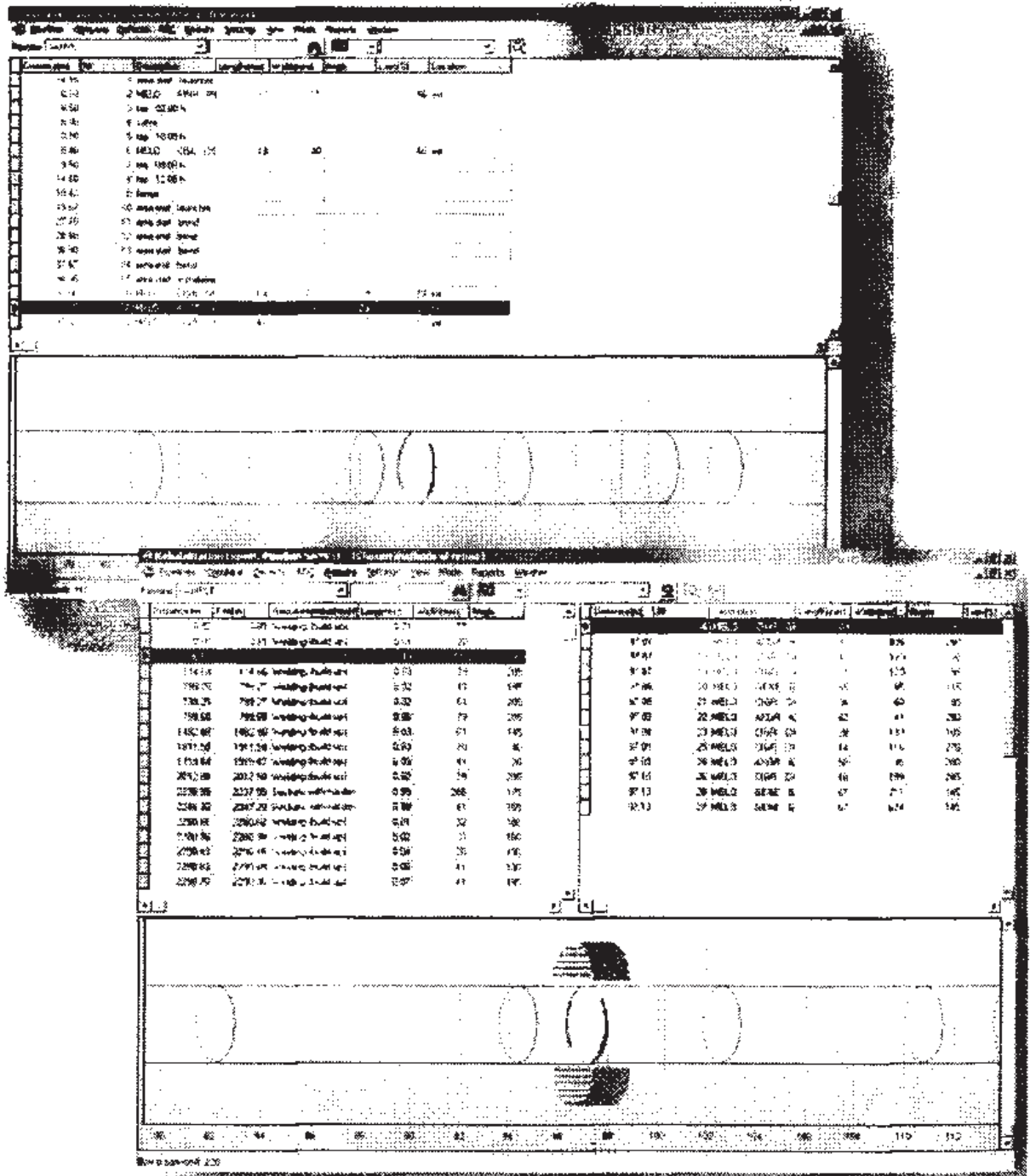


Рис. 6. Назначение вида ремонта

*Risks Expert* служит для оценки относительных рисков эксплуатации трубопровода: производит автоматическую балльную оценку факторов риска, рассчитывает профиль риска, оценивает взаимное влияние факторов риска и определяет условия снижения индекса риска в целом. Данная программа является инструментом для назначения приоритетов в процессе формирования планов технического обслуживания и инспекций трубопроводов. *Относительный риск (OR)* определяется в соответствии с докумен-

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. Сергеев<sup>1</sup>, А.П. Марков<sup>1</sup>, А.В. Иванов<sup>2</sup>, В.А. Левчук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Беларусь,

<sup>2</sup>УП «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-