

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В. А. ТРОИЦКИЙ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Многолетняя безаварийная эксплуатация магистральных трубопроводов зависит от мониторинга их технического состояния, уровня обслуживания, реализации результатов физических методов их диагностики. Рассмотрены применяемые виды разметки магистральных трубопроводов, которые должны быть заменены на персональные штрих- и точечные коды труб. Это позволяет объединить информационные возможности различных систем диагностики и вести локальные ремонты без травмирования труб большими раскопами, следить за эксплуатацией труб с дефектами, степень опасности которых должна иметь цветную индикацию. Библиогр. 14, табл. 1, рис. 14.

Ключевые слова: магистральный подземный трубопровод, дефектоскопия, внутритрубная диагностика, мониторинг, измерение поляризованного потенциала, магнитометрический метод, ультразвуковой контроль, учет состояния труб, маркерные и кодовые пластины

Все трубы, из которых состоят трубопроводы, имеют дефекты, не обнаруженные при входном контроле металла листов, из которых формируется труба, и появившиеся при изготовлении и сварке их в трубопровод [1]. Все эти допустимые дефекты присутствуют в каждой трубе в разном количестве.

Факторами, ограничивающими длительность эксплуатации подземных трубопроводов, являются как развивающиеся многочисленные врожденные дефекты, так и процессы стресс-коррозии, деградации материалов, усталостные и электрохимические процессы. Поэтому регулярная диагностика, эффективная организация наблюдения за состоянием труб являются основными мероприятиями по поддержанию работоспособности конкретных труб подземных магистральных трубопроводов.

Количество дефектов, обнаруживаемых только при внутритрубной диагностике линейных участков трубопроводов, может исчисляться сотнями на 1 км. Одновременное их устранение является чрезмерно трудоемкой задачей и не является целесообразным [12]. За дефектными зонами надо следить. Современные методы расчетов оценки предельного состояния трубных конструкций с утонениями, трещинами, измеренными геометрическими аномалиями позволяют с высокой достоверностью прогнозировать их остаточную прочность, определять критические размеры дефектов, требующих немедленного устранения, или умеренные, не требующие немедленного устранения. Точность таких расчетов зависит от особенностей конкретного участка, возраста и сопротивляемости различным видам разрушения. Поэтому всем обнаруженным дефектам должна быть дана пред-

варительная оценка и установлена очередность их устранения. В мировой практике уровень опасности принято обозначать в цвете. Для труб, эксплуатируемых с дефектами, могут быть три цвета: красный, оранжевый, серый. Этим способом можно воспользоваться для ранжирования дефектных зон, обращения внимания служб и лиц, причастных к эксплуатации трубопроводов. Эти цвета должны быть на указателях проблемных зон, на элементах трубопроводной арматуры, подлежащих ремонту конструкций, ожидающих своего часа, на указателях, предусмотренных в технической документации.

В случаях отсрочки устранения обнаруженных дефектов при помощи цветной индикации можно находить эти зоны для наблюдения за ними с определенной периодичностью. Кроме того, независимо от проблем дефектности, для идентификации все трубы (плети, секции) должны иметь свои коды (номера), выведенные на поверхность и читаемые внутритрубными и ручными дефектоскопами. Подобные организационные правила должны быть заложены в технической документации. Надежность реконструируемых и строящихся магистралей требует этих нововведений.

Известно, что трубопроводы внешней прокладки живут дольше, чем подземные трубопроводы. Знаменитый Аляскинский нефтепровод, перекачивающий агрессивную нефть, эксплуатируется уже более 50 лет и при хорошем обслуживании будет это делать еще многие годы. Долголетие зависит от культуры и качества обслуживания. Срок службы подземных нефтегазопроводных магистралей может быть приближен к времени существования наземных трубопроводов, если обеспечить достойный уход за каждой трубой, из которых слагается трубо-

провод. Для этого состояние труб должно проверяться без больших травм для металла, больших механических нагрузок при локальном шурфовании, без больших раскопов. Для этого надо иметь выведенные на поверхность номера труб (плетей, секций).

Для подземных нефте-газопроводных магистралей используется много непрерывно совершенствующихся видов диагностики, число которых непрерывно увеличивается. Наиболее распространенными из них являются: внутри-трубная [3, 4] магнитная (акустическая); низкочастотная [5] ультразвуковая; электрометрическая [6, 7] изоляции; коэрцитивно-метрическая; магнитометрическая [8] на основе магнитной памяти; акустоэмиссионная; тензометрическая; термографическая [5, 4], визуально-оптическая и пр.

Каждое из этих испытаний дает свою специфическую информацию о состоянии подземных трубопроводов, которая воспринимается ремонтниками только после ее подтверждения ручными средствами дефектоскопии. Для уменьшения механических нагрузок шурфление, вскрытие должно производиться только части трубы. К сожалению, в настоящее время по дефектограммам каждого из перечисленных видов диагностики нельзя назвать трубу, в которой имеются опасные дефекты, поскольку трубы обезличены, т. е. не имеют своих номеров (кодов). Эта неопределенность порождает много проблем, включая понижение надежности трубопроводов из-за протяженных раскопов, повышение расходов на ремонт и пр.

Все перечисленные выше физические методы технической диагностики имеют собственные точки начала и средства отсчета координат, правила и средства привязки своих результатов к поверхности магистрали. Для этого часто используют устройства систем космической навигации GPS. Поэтому трудно сравнивать результаты разных видов диагностики, тогда как они должны дополнять друг друга. Для каждого вида испытаний всегда остро стоит вопрос ошибок первого (пе-

ребор, лишнее забраковано) и второго (недобор, пропуск дефектоскопии) рода при сравнении результатов всех видов диагностики. Опишем некоторые виды диагностики, уточнить и объединить результаты которых могут только присвоенные трубам собственные номера, зная которые можно наблюдать историю жизни каждой трубы многие десятилетия.

На рис. 1, а показана схема мониторинга состояния изоляции за счет измерения поляризационного потенциала трубопровода [6, 7], используемого для изучения влияния агрессивной среды грунта, которая приводит к разрушению изоляции и металла трубопроводов. Для защиты металла применяют противокоррозионную защиту и периодически ее проверяют. Подземные трубопроводы защищают от коррозии изоляционным покрытием и катодной поляризацией. Основным критерием состояния изоляции считают разницу потенциалов между металлом и средой, называемую поляризационным потенциалом. В электропроводной среде значение потенциала следует контролировать и поддерживать в определенном диапазоне. Для этого используется соответствующая точная электронная аппаратура.

Такое обследование подземных трубопроводов электрометрическими методами (электродами) с поверхности земли может быть контактным (рис. 1, а) и бесконтактным. Последнее существенно повышает оперативность, но не дает уверенной информации. В этом виде диагностики имеется много оригинальных решений. На рис. 1, а показана упрощенная схема измерения поляризационного потенциала [9]. Здесь изображен пункт измерений, электрод, заглубляемый в грунт через 5...15 м по оси трубопровода, и дополнительный электрод, перемещаемый параллельно оси на расстоянии $(2...6)h$. С помощью измерительного пункта с такой комплектацией можно на сотнях метров получать сведения о распределении переходного сопротивления «труба – земля» вдоль трассы (рис. 1, б), измерять сопротивление изоляции, рас-

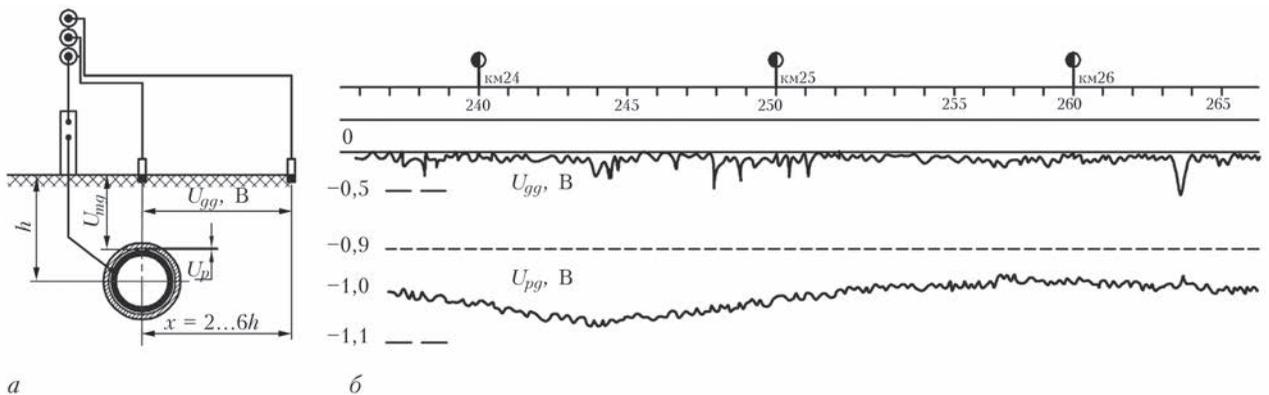


Рис. 1. Оценка качества изоляции трубопровода по результатам измерений поляризационного потенциала U_p : а – схема, б – результаты измерений, U_{mg} – напряжение между трубой и электродом, U_{gg} – то же на расстоянии x от оси, h – глубина залегания трубопровода

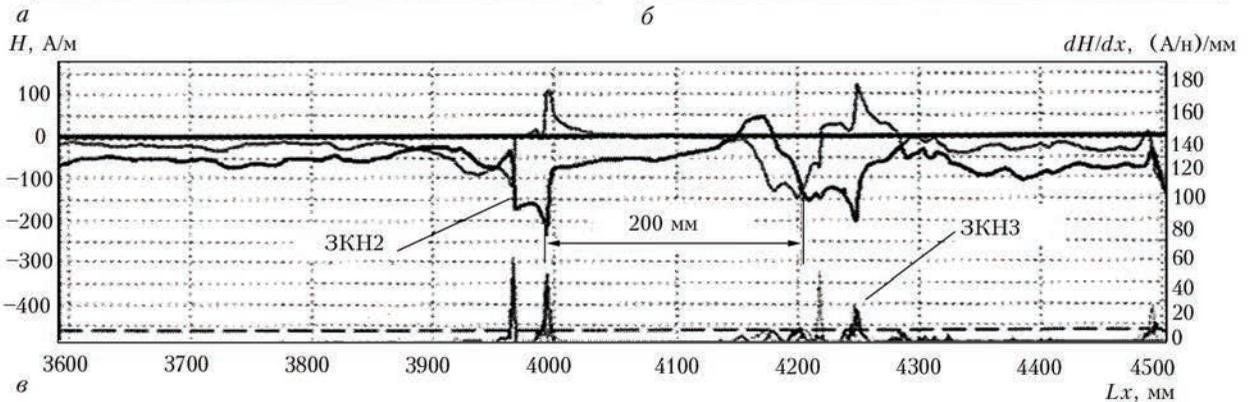


Рис. 2. Магнитометрическая диагностика, определяющая зоны концентраций напряжений (ЗКН): а, б – процесс измерений; в – распределение напряженности H (А/м) магнитного поля на поверхности и его градиент dH/dx вдоль оси магистрали

пределение потенциала «земля – земля» и U_p – поляризационного потенциала вдоль трубы, оценивать состояние изоляции.

Магнитометрический метод (рис. 2) находит зоны концентраций напряжений. В этих зонах при полноценной изоляции могут быть утонения металла и другие дефекты [8]. Здесь магнитограмма, как и результаты измерений поляризационного потенциала, не привязана к конкретным трубам.

На рис. 3 показан пример диагностики магистрального трубопровода с помощью низкочастотного (НЧ) [5, 10] ультразвукового контроля (УЗК). Здесь измерения, отсчет координат идет от места установки кольцевой антенны на теле трубы. Это уже какое-то более конкретное начало отсчета по телу изучаемого объекта. Метод НЧ УЗК на новых

трубопроводах может дать информацию о качестве большого числа кольцевых монтажных швов магистрали до нескольких километров. Такую оценку важно делать перед опусканием трубопровода в траншею. По протяженности проникновения НЧ-колебаний в металл старых труб можно судить об износе его структуры. НЧ УЗК является действующим контролем. Он успешно применяется для диагностики различных трубопроводов, включая Аляскинский нефтепровод.

Интересный опыт применения НЧ УЗК диагностики описан в работе [10]. Этот метод был использован для диагностики 74-х километрового технологического трубопровода. С помощью НЧ УЗК было обнаружено 1345 дефектов с утонением стенки трубы более 20 %. Размер утонения уточнялся УЗ-толщиномерами. При этом было выделено 263 недопустимых дефекта с толщиной стенки меньше браковочного уровня и 230 дефектов с толщиной стенки, близкой к отбраковочному значению (плюс 0,5 мм). Первая группа подлежала немедленному ремонту (красный цвет), вторая – была отнесена к ближайшему плановому ремонту (оранжевый цвет). Остальные 1345 – 263 – 230 = 852 пораженных (более 20 % толщины) места (серый цвет) должны были наблюдаться. Для этого их надо периодически отыскивать на трассах и диагностировать. Очевидно, что каждые из 852 + 230 = 1082 мест на трубо-



Рис. 3. Низкочастотная ультразвуковая диагностика

проводах будут легче обнаруживаться, если ввести нумерацию труб. Для наружных трасс это так и делается. Ниже покажем, как это можно сделать для подземных трубопроводов, с которыми у обходчиков нет непосредственного контакта.

На рис. 4 изображена [10] диаграмма (2011 г.) распределения недопустимых дефектов по-трубно. Здесь отдельные трубы имеют до 21 недопустимого дефекта. По 7 недопустимых дефектов было у трех труб, а по одному – у 25 труб. Характерно, что в 2010 г. эта фирма до освоения метода НЧ УЗК на технологических трубопроводах протяженностью 74,2 км нашла только 9 труб с недопустимыми дефектами, тогда как по данным 2011 года эти трубопроводы имели 1345 дефектных мест. Как для наземных, так и для подземных трубопроводов отчетность должна быть только по-трубная (рис. 4).

Введение по-трубной нумерации обеспечит учет реального состояния каждой трубы с указанием мест расположения дефектов, что продлит срок службы подземных трубопроводов, повысит культуру их обслуживания. При этом каждый вид диагностики получает возможность представлять свои результаты с привязкой к конкретным трубам. Все многочисленные виды оценок состояния магистрали становятся конкретными и сопоставимыми друг с другом. Зонам с дефектами должна быть дана оценка конкретной степени опасности, которую несет конкретная труба с ее биографией и факторами, повлиявшими на развитие в ней стресс-коррозии, случаи дополнительных нагружений, предыдущие ремонты и прочее. По-километровая оценка должна быть заменена по-трубной.

Из всех перечисленных видов диагностики наиболее информативной является внутритрубная. Внутритрубные дефектоскопы непрерывно совершенствуются, растут объемы получаемой от них информации. Неоднородности, утонения и другие отклонения от нормы по рекоменда-

циям диагностов (дефектоскопистов и прочнистов) после расшифровки дефектограмм должны быть указаны соответствующим цветом на конкретной трубе трассы. Сейчас интересующую трубу разыскивают по косвенным признакам, например, по расстоянию от определенного репера, который визуализируется на дефектограмме, или элементам трубной арматуры, отводов, преград и тому подобному, что легко находится на поверхности трассы. Расстояние от репера до интересующей трубы, до места шурфления может исчисляться сотнями метров. Поэтому вероятность допущения ошибки в определении места раскопа очень высока. На старых трубопроводах кроме проблемы «ремонтировать нечего» часто возникает более опасная ситуация – проблема «избыточности». Это происходит, когда ручная дефектоскопия находит намного больше дефектов, чем внутритрубный дефектоскоп. При этом что-то отремонтировали, но не самое опасное по дефектограмме место, которое не было раскопано. Такая ситуация возможна только при обезличенности труб. Из-за противоречий с ручной дефектоскопией, неуверенности приходится вскрывать большие участки трассы. Положение дел исправится, если будет использована описанная ниже считываемая внутритрубным дефектоскопом и ручными средствами система штрихового или точечного кодирования (нумерации) труб.

Для считываемой внутритрубными дефектоскопами разметки магистралей используют системы [11–13], основанные на применении различных на дефектограмме маркерных пластин, располагаемых на теле трубы, реперов, маркерных труб. Маркерные пластины на теле трубы и маркерные трубы облегчают перенос информации с дефектограммы на тело трубы.

В работе [13] описана разметка с помощью накладных маркерных пластин (рис. 5), размещенных вдоль трубопровода на стыковых соединениях отдельных труб, и соответствующих реперов

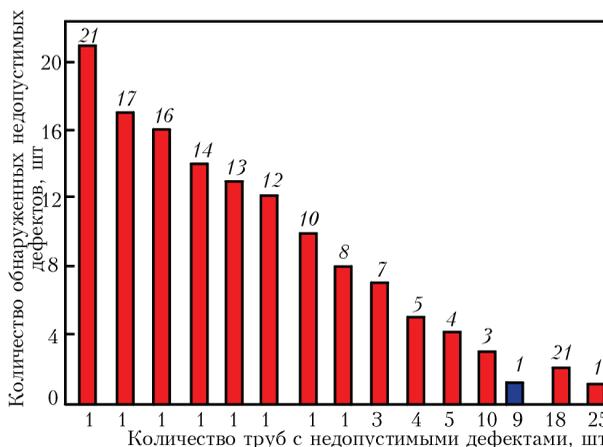


Рис. 4. Диаграмма распределения недопустимых дефектов и количества бракованных труб, шт/трубопроводов (■ – 2010 г., 9 шт., ■ – 2011 г., 263 шт.)

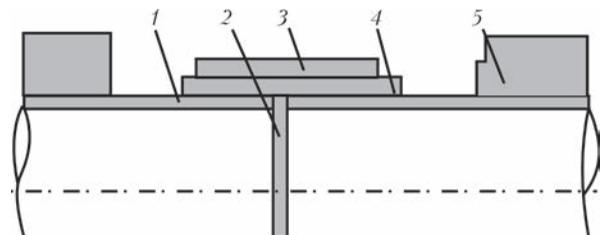


Рис. 5. Расположение маркерных пластин на трубопроводе: 1 – стенка трубы; 2 – кольцевой монтажный стык; 3 – хомут; 4 – маркерная пластина; 5 – бетон

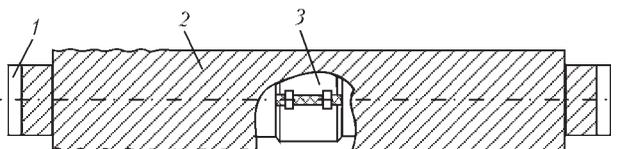


Рис. 6. Маркерная труба: 1 – тело трубы; 2 – балластное покрытие; 3 – маркер KD 13229.00.000

на поверхности трассы. Последним достижением в этой серии разметок является разметка на основе видимых на дефектограмме маркерных труб (рис. 6), изготавливаемых в заводских условиях и располагаемых в магистрали через 1...2 км. Для того, чтобы найти дефектную трубу, перемещаясь по поверхности трассы от репера маркерной трубы, надо отсчитать большие расстояния примерно так, как показано на рис. 2. Сложен перенос информации о расположении дефектов с дефектограммы, которая не учитывает особенности рельефа поверхности трассы. Это является одной из причин ошибок в определении места расположения дефектов на поверхности. Все обнаруженные на дефектограммах дефекты легко найти и указать на поверхности трассы, если будет по-трубная нумерация, вынесенная на поверхность.

В качестве штрих-кодовых элементов в простейшем случае, например для труб малого диаметра, могут быть использованы кодовые бандажи (рис. 7), располагаемые в зоне кольцевого монтажного шва. Для труб больших диаметров штрих-код может быть в виде панели с кодовыми элементами (рис. 8) или пластины с кодовыми отверстиями (рис. 9–13). Таким образом, есть три конструктивные возможности формирования легко считываемого кода трубы. Для каждого монтажного шва трубы может быть сформирована определенная комбинация кодовых элементов. Это могут быть бандажи, кодовые элементы панели или отверстия в пластине. Каждая из этих трех систем имеет свои особенности в изготовлении, считывании, расширении информации.

Преимущество штрих-кодов на основе маркерных бандажей – это пригодность для любых диаметров, абсолютная узнаваемость их внутритрубными дефектоскопами, поскольку кодовый бандаж – это заметное утолщение металла по всей образующей трубы, и такой код пропустить нельзя.

Маркерные бандажи (фиг. 7), располагаемые в зоне кольцевого монтажного сварного шва перед его изоляцией, изготавливаются из элементов трубного металла и плотно прилегают к поверхности трубы. Они бывают многоэлементные или ленточные.

В качестве информативных признаков штрих-кода может быть также форма, конструкция элементов бандажа, расстояние его до монтажного шва, расстояние между отдельными элементами бандажей. Используя эти признаки, можно обозначить многие сотни стыков.

Если такой штрих-код делать только на каждый пятый стык, т. е. через 4 трубы, то тогда для участка из 100 труб (1200 м) необходимо разметить только 20 стыков. В этом случае оценка дефектов, их опасность и расположение должно выполняться для блока из четырех труб.

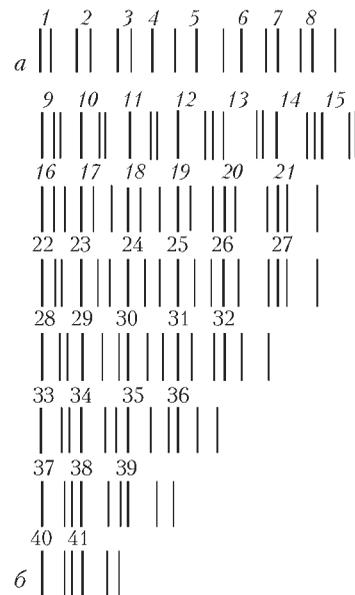


Рис. 7. Формирование штрих-кода за счет удаления одного (а) или двух (б) бандажей (тонкая линия) от монтажного шва (жирная линия)

На рис. 7, а показано, как одиночный ленточный бандаж располагается около монтажного шва (МШ) на разных расстояниях. Здесь так обозначено 8 монтажных швов, выделенных на рисунке жирными линиями. Тонкая линия – это ленточный или сборный кодовый бандаж, расположенный справа от МШ. Набор штрих-кодов может быть сформирован при расположении подобных бандажей и слева от МШ, т. е. по ходу или против направления движения транспортируемого продукта.

На рис. 7, б показана разметка МШ, аналогичная разметке рис. 7, а, но с помощью уже двух бандажей. Здесь за счет расстояния между бандажами и МШ число обозначений существенно увеличено. На рис. 7, б их показано 33, а общее число штрих-кодов на рис. 7 составит 41. На рисунке одноленточный и двухленточный бандажи находятся справа от МШ. Такое же их расположение может быть выполнено слева от МШ. Тогда общее число штрих-кодов возрастает до 82. Это при длине трубы 12 м позволит обозначить каждую трубу на трассе, протяженностью 984 м. Значительно больше возможностей в формировании штрих-кодов дают не ленточные, а многозвенные сборные бандажи. На рис. 7 показано использование только двух признаков – числа (2) и расстояния. Если, кроме того, ввести учет вариантов конструктивного исполнения штрихового элемента (рис. 8), то число кодов возрастает на порядок.

Формирование штрих-кодов должно быть описано в технической документации, где должны быть указаны соответствующие друг другу коды и номера труб (МШ) в виде таблиц, подобных таблице, подготовленной для точечного штрих-кода с двумя отверстиями из 15 возможных.

Для труб большого диаметра рекомендуются штрих-кодовые панели (рис. 8), в которых короткие прямые кодовые элементы являются аналогами бандажей.

Рассчитаем сколько вариантов штрих-кода можно получить, когда имеется: 5 и 10 вариантов конструкций элементов, которые могут располагаться вплотную к МШ или на некотором расстоянии (2 признака). Маркерные элементы (бандажи) могут располагаться либо до либо после МШ (2 признака).

Таким образом, в случае 5 вариантов конструкций элементов (бандажей) будет 9 отличительных варьируемых признаков, а в случае 10 вариантов таких признаков будет 14. Подсчитаем число комбинаций (число кодов) для этих случаев: $A_9^3 = 9 \cdot 8 \cdot 7 = 504$, $A_{14}^3 = 14 \cdot 13 \cdot 12 = 2184$. Это приблизительно на протяжении 5 км и 22 км трассы даст всем трубам возможность иметь собственные неповторяющиеся коды.

Здесь для расчета комбинаций использована известная формула $A_m^n = m(m-1)(m-2)...[m-(n-1)]$, где число размещений равно произведению n последовательных целых чисел, из которых наибольшим является m .

На рис. 8 приведен пример такой кодовой панели, состоящей из пяти кодовых элементов. Панель представляет набор кодовых элементов, собранных на шпильках с втулками, определяющими дистанцию между штриховыми элементами. Изменяя набор, конструкцию элементов и дистанцию между ними, формируются коды, подобные штрих-кодам из бандажей, изображенных на рис. 7. Система нумерации может начинаться с использования одного элемента, далее двух, трех однотипных, далее – разных штриховых элементов. Кодовую панель располагают в околосшовной зоне монтажного шва перед ее изоляцией.

В состав штрих-кодовой панели по рис. 8 кроме набора кодовых элементов входят вспомогательные детали: две щеки, втулки и три стягивающие шпильки, которые для того, чтобы их не было видно на дефектограмме, должны быть выполнены из неферромагнитного металла, должны иметь толщину, диаметры и другие размеры меньше размеров штриховых кодовых элементов. При выполнении этих условий на дефектограмме будут четко видны только штрих-кодовые элементы без вспомогательных деталей.

В каждой группе информационных кодовых элементов должна быть иерархия применимости с учетом читабельности их на дефектограмме. Если прочтение штрих-кодов зависит от направления намагничивания, то для выявления точечных кодов направление намагничивания не имеет значения. Рассмотрим возможности точечных кодов.

На рис. 9 показано расположение точечной кодовой пластины 1 в зоне пересечения кольцевого

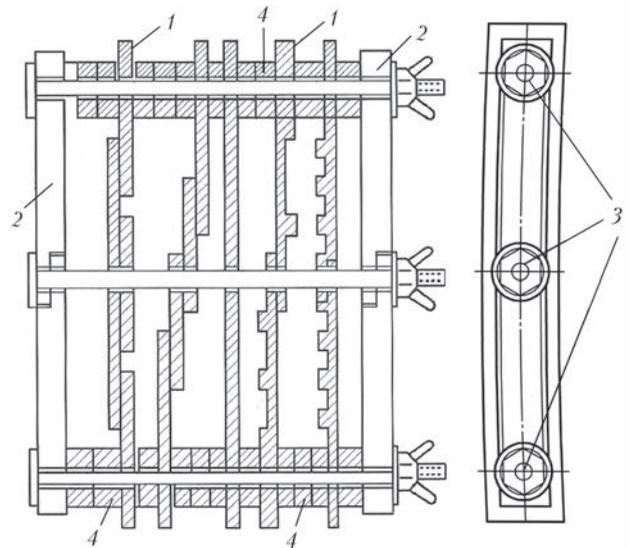


Рис. 8. Панель штрих-кодов, состоящая из 5 разных кодовых элементов, сочетание которых определяет номер трубы: 1 – кодовые элементы; 2 – щеки; 3 – стягивающие шпильки; 4 – втулки

монтажного 2 и продольного 3 швов. Вариантов точечных кодов, их конструктивного и смыслового наполнения может быть очень много. Опишем четыре принципиально разные системы построения точечных кодовых обозначений. Все они предполагают наличие ферромагнитной пластины с отверстиями, располагаемой на теле трубы.

В мировой практике кодирования штриховые коды вытесняются точечными, которые проще изготавливать и понимать. Самый простой точечный код – это когда количество отверстий в пластине равно номеру без каких-либо комбинаций (рис. 10). Сколько отверстий, такой и номер. Все просто. Это простейшая возможность формирования номеров. На рис. 11 показан более сложный вариант написания цифрового номера. Отверстия в пластине на рис. 10 могут быть выполнены в произвольном порядке, а на маркерной пластине по рис. 11 изображен цифровой номер, который принадлежит трубе № 9175. И в первом и во втором вариантах надо иметь много отверстий.

Покажем, что выполняя в пластине только 2 – 3 отверстия за счет комбинаций относительно возможных мест их открытия, можно создавать огромное количество кодов. Многочисленность точечных кодов достигается за счет разного

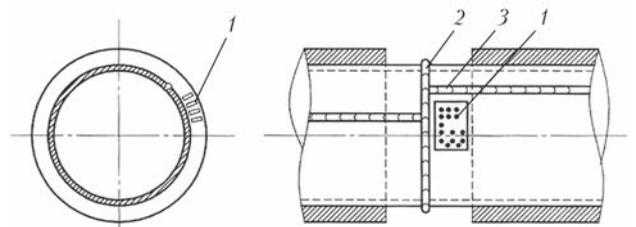


Рис. 9. Расположение кодовой пластины (1) в зоне пересечения монтажного (2) и продольного (3) швов

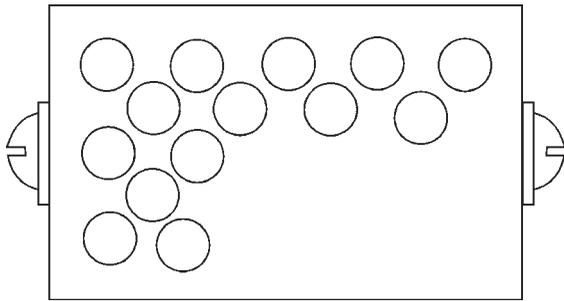


Рис. 10. Маркерная пластина с 14 произвольно расположенными отверстиями, число которых соответствует номеру монтажного шва (№ 14)

расположения нескольких отверстий относительно детерминированных точек их возможного расположения.

На рис. 12 показана небольшая пластина, содержащая 15 детерминированных точек, в которых могут быть открыты отверстия. С помощью такой пластины, открывая в детерминированной точке по одному отверстию, можно получить 15 обозначений, а при открывании двух одинаковых отверстий можно получить уже 105 кодов, показанных в таблице. Если на этой кодовой пластине отверстия имеют собственные отличительные признаки, например разные диаметры, то число таких кодов удваивается и делается равным 210. Общее число вариантов из 15 по два подсчитывается по формуле $N = A_m^m = m(m-1) \dots = A_{15}^2 = 210$. Здесь каждая пластина имеет два разных отверстия.

В том случае, если оба отверстия одного диаметра, т. е. не имеют собственных отличительных признаков, то число кодов уменьшается в два раза и равно $N = \frac{A_m^m}{n} = 105$. Они приведены в таблице. Например, для обозначения МШ, имеющего номер 47, согласно таблице, на кодовой панели

Соответствие номерам труб точечного кода в виде двух одинаковых отверстий на пластине с 15-ю возможными точками для отверстий

Номер МШ	Ø n ₁ -n ₂	№	Ø n ₁ -n ₂	№ МШ	Ø n ₁ -n ₂	№ МШ	Ø n ₁ -n ₂	№ МШ	Ø n ₁ -n ₂	№ МШ	Ø n ₁ -n ₂	№ МШ	Ø n ₁ -n ₂
1	1-2	17	2-5	33	3-9	49	4-14	65	6-11	81	8-12	97	11-13
2	1-3	18	2-6	34	3-10	50	4-15	66	6-12	82	8-13	98	11-14
3	1-4	19	2-7	35	3-11	51	5-6	67	6-13	83	8-14	99	11-15
4	1-5	20	2-8	36	3-12	52	5-7	68	6-14	84	8-15	100	12-13
5	1-6	21	2-9	37	3-13	53	5-8	69	6-15	85	9-10	101	12-14
6	1-7	22	2-10	38	3-14	54	5-9	70	7-8	86	9-11	102	12-15
7	1-8	23	2-11	39	3-15	55	5-10	71	7-9	87	9-12	103	13-14
8	1-9	24	2-12	40	4-5	56	5-11	72	7-10	88	9-13	104	13-15
9	1-10	25	2-13	41	4-6	57	5-12	73	7-11	89	9-14	105	14-15
10	1-11	26	2-14	42	4-7	58	5-13	74	7-12	90	9-15		
11	1-12	27	2-15	43	4-8	59	5-14	75	7-13	91	10-11		
12	1-13	28	3-4	44	4-9	60	5-15	76	7-14	92	10-12		
13	1-14	29	3-5	45	4-10	61	6-7	77	7-15	93	10-13		
14	1-15	30	3-6	46	4-11	62	6-8	78	8-9	94	10-14		
15	2-3	31	3-7	47	4-12	63	6-9	79	8-10	95	10-15		
16	2-4	32	3-8	48	4-13	64	6-10	80	8-11	96	11-12		

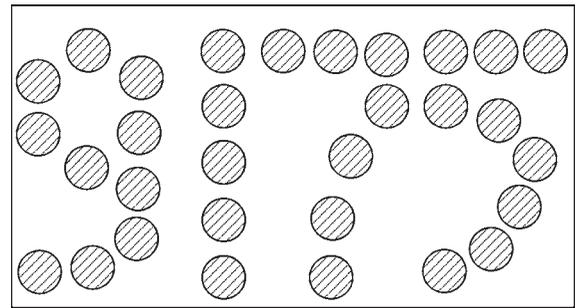


Рис. 11. Маркерная пластина, содержащая 55 точек, с цифровым номером из 31 отверстия для трубы № 9175

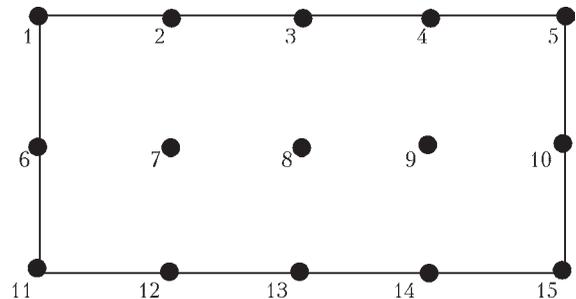


Рис. 12. Кодовая пластина на 15 возможных отверстий для 105 или 210 точечных кодов

должны быть открыты четвертое и двенадцатое отверстия.

На рис. 13 показана кодовая пластина в два раза большего размера, чем на рис. 12, в которой детерминированных точек для отверстий в два раза больше (30). Причем отверстия могут быть разных и равных диаметров. Если в такой пластине открывать только по одному отверстию одного диаметра, то так можно обозначить только $N_1^1 = 30$ МШ, а если открывать по два отверстия (рис. 13, б) одного диаметра, то число кодов будет $N = A_{30}^2 = 435$. Если открывать два отверстия разного диаметра, то $N_{30}^2 = A_{30}^2 = 870$. Если аналогично открывать по три отверстия (рис. 13, в) разных

диаметров, то число кодов будет $N_{30}^3 = 24360$. Это уже слишком много. Так можно обозначить все трубы в магистрали протяженностью $24360 \times 12 = 292320$ м т. е. примерно 300 км. Для облегчения понимания использования точечных кодов избыточность возможностей желательно уменьшить, например, все отверстия делать одного диаметра. Тогда $N_1 = 30$; $N_2 = 435$; $N_3 = 8120$ (примерно 97 км).

Как видно из этих цифр, система точечных кодов с количеством открываемых отверстий более 3 для трубных задач уже избыточна. С расширением возможностей усложняется понимание точечных кодов. Лучше сделать акцент на периодической повторяемости простых кодов с одним или двумя штриховыми элементами или одним или двумя отверстиями после естественного артефакта магистрали.

Добавить информативности можно простыми вспомогательными возможностями. Например, введением прорезей, показанных на верхней кромке кодовой пластины (рис. 13, а), или изменением детерминированного места расположения кода, что также является легким для понимания отличительным признаком.

Таким образом, из трех рассмотренных систем простейшими являются точечные коды на основе отверстий в кодовой пластине, которые могут быть в следующих исполнениях: произвольно расположенные отверстия (рис. 10, б), количество которых определяет номер; цифровое изображение (рис. 11) в виде арабских (1, 2, 3. ...) или римских (I, II, III, ...) цифр; комбинации 2-х или 3-х отверстий (рис. 13, б, 13, в); посредством одного кодового отверстия, местоположение которого определяет номер (рис. 13, а).

Пока нет стандартов, требующих применения по-трубного кодирования, проектант имеет возможность разработки собственных систем нумерации. Он может выбирать одну из четырех перечисленных точечных кодовых систем с учетом особенностей ожидаемого строительства или реконструкции.

Самый упрощенный и достаточно емкий способ предполагает открытие по одному отверстию разного диаметра и использование ряда прорезей на периферии пластины. На рис. 13, а показаны два возможных диаметра и семь прорезей по верхней периферии кодовой пластины. Боковые прорези, количество которых соответствует номеру участка трубопровода, являются вспомогательным информативным признаком и могут быть использованы для дополнительного обозначения огромного количества труб.

По-трубная разметка важна как для подземных, так и для подводных трубопроводов, в зонах активных грунтов, включая зоны тектонических разломов, горных местностей, где надо следить за напряженным состоянием трубопровода, его подвижностью. Специфика среды пролегания трубопроводов определяет способы выведения на поверхность номеров (кодов) для периодической инспекции, наблюдения за отдельными трубами.

Требования к системам разметки подземных трубопроводов будут возрастать с ростом культуры эксплуатации. По-трубная разметка облегчит преодоление спорных ситуаций, возникающих периодически на подземных трубопроводах в течение многолетнего периода их эксплуатации, для которых практикуют различные виды диагностики (рис. 1–3). Так может быть обеспечено наблюдение за каждой трубой, которая была или должна быть в ремонте, но ждет своей очереди. Без вскрытия магистрали все потенциально опасные дефекты, обнаруженные внутритрубным дефектоскопом, могут быть обозначены на поверхности трассы. Так может быть реализован принцип предупреждения и устранения очередности ремонта по степени опасности дефектов (красная, оранжевая, серая). Вынесенный на поверхность трассы цвет определяет отношение к конкретной трубе с дефектом.

Система кодирования (нумерации) труб, изложенная в технической документации, сократит эксплуатационные расходы, время для профилактики и наблюдения за отдельными трубами, их ремонтом, будет способствовать сокращению объемов земляных работ.

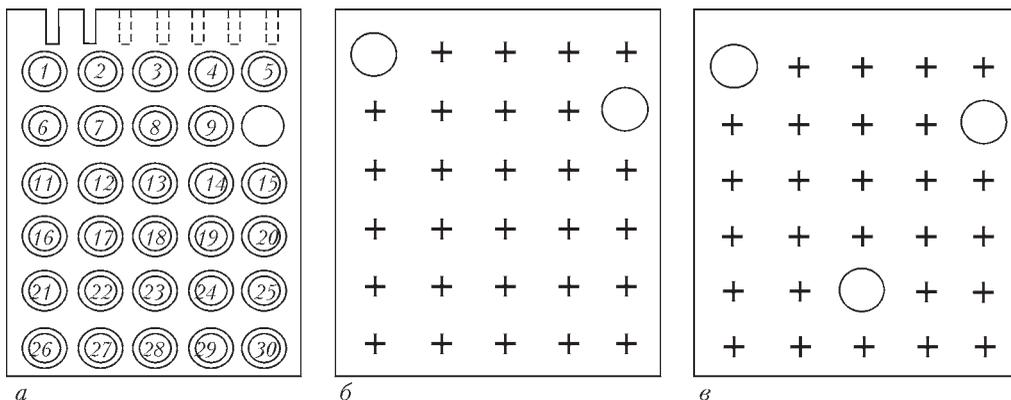


Рис. 13. Кодовая пластина: а – с одним (10) открытым отверстием из 30 возможных и 7-ю возможными прорезями по периферии; б – с двумя и в – с тремя открываемыми отверстиями

Достаточное упрощенное емкое кодирование может быть достигнуто с помощью всего двух или трех отверстий, двух или трех штрих-кодовых элементов. Трубы с отклонениями от нормы должны периодически наблюдаться различными средствами неразрушающего контроля путем точечного шурфования без травмирования соседних полноценных зон трубопровода. Точное место расположения дефекта на конкретной трубе легко находится на ее дефектограмме и должно быть выведено на поверхность вместе с ее номером. Цифровой номер и цвет легко читается обходчиками. Штриховой или точечный код читается приборами и специалистами, знающими техническую документацию и переводные таблицы. Для обходчиков, диагностов и остального персонала, перемещающегося по поверхности трассы, должны быть понятны номера труб и степень (цвета) опасности дефектов, которые они имеют. Таким образом, будет стерто одно из основных информационных отличий в эксплуатации подземных и наземных магистралей. Они будут меньше травмироваться, так как уменьшатся объемы раскопов.

По данным работы [14] наибольшая доля аварий (69 %) на подземных трубопроводах связана с внешними механическими воздействиями. В США 26,1 % аварий происходит от воздействия машин и механизмов. Механические нагрузки создаются и несанкционированными врезками, для борьбы с которыми разрабатываются сложные автоматизированные системы быстрых упреждающих действий. Любые быстрые действия могут быть только при точном указании места происхождения несанкционированных звуков (шумов от механизмов, используемых при врезках).

Для вывода по-трубной разметки на поверхность должно быть использовано все, что расположено вдоль трассы. Это пикеты, измерительные пункты, по-километровые и промежуточные столбы, вехи, пересекающие трассу внешние коммуникации, специальные указатели и тому подобное. Особое значение имеют разметки (красный, оранжевый, серый) для труб с дефектами разной опасности. Подземные, как и наземные, трубы должны быть «узнаваемы» без раскопов, к ним должен быть легкий доступ, включая использование радаров. Любой раскоп, любое шурфование – это травма для трубопровода, которая должна

быть минимизирована. Принцип «не навреди» будет реализован только при максимальном учете в процессе раскопа всей истории жизни особенностей каждой трубы, ее диагностик, ремонтов, предыдущих шурфовок и пр.

Внутритрубная диагностика [15] на некоторых нефтепродуктопроводах иногда выявляет 150...200 дефектов на 1 км, глубина коррозии которых достигает 60 % толщины стенки трубы, несмотря на наличие их электрохимической защиты. Отремонтировать все и сразу невозможно, надо изучать, какие у трубы имеются дефекты, врожденные (оставленные при строительстве) и приобретенные, кроме утонения, есть ли дополнительные причины для концентраций напряжений. Этих причин много.

Из небольших кусочков (примерно 10×20×5) полосы или трубного металла условные знаки (рис. 14), описанные в технической документации, могут пояснить будущим диагностам особенности трубы, которые были устранены в процессе строительства (реконструкции) трубопровода. Эти условные знаки, располагаемые на теле трубы, могут касаться механических повреждений разного происхождения, указывать места с допустимыми дефектами, оставленными без ремонта, зоны, отремонтированные подваркой или по другой технологии. Условные знаки административного характера могут указывать на исполнителя работ, причины ремонта, дату и другие сведения, которые могут оказать через много лет решающее значение при определении степени опасности труб и установлении очередности ремонта.

Строительные организации, которые научатся нумеровать, кодировать особенности труб, размещать их номера вдоль трассы, будут более востребованы, чем другие строители. Возрастет авторитет и диагностов, которые научатся со временем в своих отчетах указывать номер (код) проблемной трубы. Эксплуатационники должны без раскопов по данным дефектограммы внутритрубного дефектоскопа научиться размечать на поверхности проблемные трубы. Все это уменьшит объемы раскопов, механических воздействий, увеличит надежность, срок службы подземных трубопроводов. Необходимо наблюдение за каждой трубой с учетом ее происхождения, истории жизни, ремонтов, диагностик в течение многих десятилетий. Такой подход увеличит информативность и обеспечит долголетие подземных трубопроводов.

Выводы

1. Естественные, допустимые при изготовлении, и приобретенные в процессе эксплуатации дефекты делают все трубы подземных трубопроводов разными, по-разному опасными. Опасность с возрастом

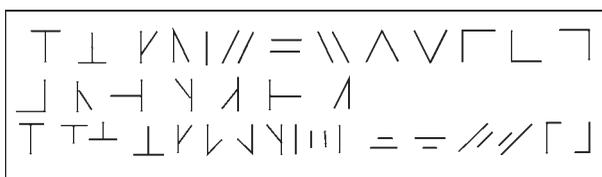


Рис. 14. Знаки технологических особенностей реконструкции: оставленные дефекты, места подварки, ремонта, механических повреждений

(деградацией) растёт. Поэтому техническое состояние, учет результатов ремонтов, диагностик, расчетов на прочность, планирование мероприятий по поддержанию работоспособности должно вестись по-трубно, а не по-километрово, т.е. конкретно и индивидуально. Для этого все трубы (секции) должны иметь свои номера (коды), читаемые внутритручными и ручными дефектоскопами.

2. Для индикации разнообразных дефектов, число которых может исчисляться сотнями на 1 км, для установления очередности ремонтов необходимо использовать трехуровневое принятое в мировой практике цветное ранжирование опасности дефектных зон, которая, если не принимать мер, не делать ремонт, переходит от серого к оранжевому и красному.

3. Номера (коды) труб, места расположения ранжированных дефектных зон, их цвета (опасности) должны быть вынесены на поверхность трассы, что облегчит наблюдение за ними без шурфования и раскопов, т. е. почти как у наземных трубопроводов.

4. Для кодирования (нумерации) труб (секций), считываемого как внутритручными, так и ручными дефектоскопами, достаточно использовать комбинации двух-трех штриховых элементов или комбинаций двух-трех отверстий на кодовой пластине, располагаемой на теле трубы под изоляцией в детерминированном месте, например, в околошовной зоне на пересечении монтажного кольцевого и продольного швов.

5. Ранжирование дефектных зон требует следующей последовательности. После расшифровки дефектограмм делается по-трубная разметка дефектов, что дает общую картину расположения дефектных труб на трассе. Далее по мере изучения материалов о каждой дефектной трубе, выполнения прочностных и экспертных расчетов с учетом весовых коэффициентов, учитывающих размеры дефектов, появляются и другие обстоятельства, после чего устанавливается степень опасности и очередность ремонта. Со временем ранжирование дефектных зон должно уточняться, так как уровень опасности с возрастом повышается.

Список литературы

1. Троицкий В. А. (2002) *Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин*. Киев, Феникс.
2. Бут В. С., Олійник О. І. Стратегія розвитку технологій ремонту діючих магістральних трубопроводів. *Зб. «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатацій конструкцій, споруд та машин»* за 2004–2006 рр., Ресурс, сс. 490–500.
3. Абакумов А. А., Абакумов А. А. (М. Л.). (2001) *Магнитная диагностика газонефтепроводов*. Москва, Энергоатомиздат.
4. Клоев В. В. (ред.), Мужикский В. Ф., Горкунов Э. С., Щербинин В. Е. (2010) *Не разрушающий контроль*. *Справочник в 8 томах*. Т. I. Москва, Спектр.
5. Патон Б. Е., Троицкий В. А. (2016) Основные направления работ ИЭС им. Е. О. Патона в совершенствовании неразрушающего контроля сварных соединений. *Сб. материалов 8-й Национальной конференции UkrNDT-2016*, сс. 8–28.
6. Цих В. С., Яворский А. В. (2016) Электромагнитный контроль изоляции подземных трубопроводов с поверхности земли. *Сб. материалов 8-й Национальной конференции UkrNDT-2016*, сс. 206–207.
7. Джала Р. М., Вербенець Б. Я., Мельник М. І. (2016) Нові методи контролю ПКЗ підземних трубопроводів за вимірами струмів і потенціалів. *Сб. матеріалів 8-й Національної конференції UkrNDT-2016*, сс. 236–239.
8. Дубов А. А. Магнитометрическая диагностика подземных трубопроводов. www.energodiagnostika.ru.
9. Чирсков В. Г., Березин Л. Г. и др. (1991) *Строительство магистральных трубопроводов*. Справочник. Москва, Надра.
10. Саража С. В. (2013) Внедрение новой концепции диагностики технологических трубопроводов в ОАО «Самотлорнефтегаз». *Территория NDT*, 4, 36–41.
11. Чернов А. А., Кауфман Л. И., Григорьев П. А. (1986) *Способ определения местоположения дефектов трубопровода*. А. с. 1214984, МПК8:F17D3/00, Опубл. 28.02.86.
12. Карнавский Е. Л., Агинея Р. В., Бужайло А. Ф., Савченков С. В. (2014) *Маркер для внутритрубной диагностики*. РФ, Пат. 2511787, МПК9:F17D5/02, опубл. 10.04.2014.
13. Коваленко А. Н. (2016) Системы определения местоположения дефектов на трубопроводе. *Контроль и диагностика*, 2, 27–35.
14. Галиулин Р. В., Башкин В. Н., галиулина Р. А. (2013) Проблема несанкционированных врезок в трубопроводы жидких углеводородов. *Журнал нефтегазового строительства*, 4, 46–49.
15. Галаятдинов А. А., Зубаилов Г. И. и др. (2007) К вопросу о демонтаже трубопроводов. *Нефтегазовое дело*. <http://www.ogbus.ru>.

References

1. Troitsky, V.A. (2002) *Magnetic particle inspection of welded joints and machine parts*. Kiev, Feniks [in Russian].
2. But, V.S., Olijnyk, O.I. Strategy of development of repair technology in operational main pipelines. In: *Problems of life and operation safety of structures, constructions and machines in 2004-2006*: Transact., 490-500 [in Russian].
3. Abakumov, A.A., Abakumov, M.L. (2001) *Magnetic diagnostics of gas- and oil pipelines*. Moscow, Energoatomizdat [in Russian].
4. Muzhitsky, V.F., Gorkunov, E.S., Shcherbinin, V.E. (2010) *Nondestructive testing*. In: Refer. book. Ed. by V.V. Klyuev. Vol. 1. Moscow, Spektr [in Russian].
5. Paton, B.E., Troitsky, V.A. (2016) Main directions of work of E.O.Paton Electric Welding Institute in improvement of nondestructive testing of welded joints. In: *Proc. of 8th Nation. Conf. UkrNDT-2016*, 8-28 [in Russian].
6. Tikh, V.S., Yavorsky, A.V. (2016) Electromagnetic inspection of insulation of underground pipelines from ground surface. In: *Proc. of 8th Nation. Conf. UkrNDT-2016*, 206-207 [in Russian].
7. Dzhalala, R.M., Verbenets, B.Ya., Melnik, M.I. (2016) New methods of CPC inspection of underground pipelines by measurements of currents and potentials. In: *Proc. of 8th Nation. Conf. UkrNDT-2016*, 236-239 [in Ukrainian].
8. Dubov, A.A. Magnetic diagnostics of underground pipelines. www.energodiagnostika.ru [in Russian].
9. Chirskov, V.G., Berezin, L.G. et al. (1991) *Construction of main pipelines*. In: Refer. book. Moscow, Nadra [in Russian].
10. Sarazha, S.V. (2013) Implementation of new concept for diagnostics of process pipelines in OJSC Samotlorneftegaz. *Territorya NDT*, 4, 36-41 [in Russian].
11. Chernov, A.A., Kaufman, L.I., Grigoriev, P.A. (1986) *Method of identification of defect location of pipeline*. USSR author's cert. 1214984, Int. Cl. F17D3/00. Publ. 28.02.86 [in Russian].
12. Karnavsky, E.L., Aginej, R.V., Buzhajlo, A.F. et al. (2014) *Marker for in-pipe diagnostics*. Patent RF 2511787, Int. Cl. F17D5/02. Publ. 10.04.2014.

13. Kovalenko, A.N. (2016) Systems of detection of defect location on pipeline. *Kontrol i Diagnostika*, 2, 27-35 [in Russian].
14. Galiulin, R.V., Bashkin, V.N., Galiulina, R.A. (2013) Problem of unauthorized cutting into liquid hydrocarbon pipelines. *Zh. Neftegazovogo Stroitelstva*, 4, 46-49 [in Russian].
15. Galyautdinov, A.A., Zubailov, G.I. et al. (2007) To problem of dismantling of pipelines. *Neftegazovoe Delo*. <http://www.ogbus.ru> [in Russian].

В. О. ТРОЇЦЬКИЙ

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ

Багаторічна безаварійна експлуатація магістральних трубопроводів залежить від моніторингу їх технічного стану, рівня обслуговування, реалізації результатів фізичних методів їх діагностики. Розглянуто види розмітки магістральних трубопроводів, що застосовуються зараз, та які повинні бути замінені на персональні штрих і точкові коди труб. Це дозволяє об'єднати інформаційні можливості різних систем діагностик, вести локальні ремонти без травмування труб великими розкопами, стежити за експлуатацією труб з дефектами, ступінь небезпеки яких повинна мати кольорову індикацію. Бібліогр. 14, табл. 1, рис. 14.

Ключові слова: магістральний підземний трубопровід, дефекто-

скопія, внутрішньотрубна діагностика, моніторинг, вимір поляризаційного потенціалу, магнітометричний метод, ультразвуковий контроль, облік стану труб, маркерні і кодові пластини

V. A. TROITSKY

E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazimir Malevich str., 03150, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

MONITORING OF TECHNICAL CONDITION OF MAIN PIPELINES

The long-term accident-free operation of main pipelines depends on monitoring of their technical condition, level of service, implementation of results of physical methods of their diagnostics. The applied types of marking the main pipelines are considered, which should be replaced by personal bar- and dot codes of pipes. This allows combining the information capabilities of different diagnostic systems and carrying out local repairs without traumatizing the pipes with large excavations, monitoring the operation of pipes with defects, the degree of danger of which should have a colour indication. 14 – Ref., 1 – Table, 14 – Fig.

Key words: main underground pipeline, flaw detection, interpipe diagnostics, monitoring, measurement of polarization potential, magnetometric method, ultrasonic testing, recording of pipe condition, marker and code plates

Поступила в редакцію
08.06.2017

Подписка на электронную версию журнала
«Техническая диагностика и неразрушающий контроль»
на сайте: www.patonpublishinghouse.com.

Правила для авторов: www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/rules
Лицензионное соглашение: www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tdnk/license
В 2017 г. в открытом доступе архивы статей журнала за 2003–2015 гг.

РЕКЛАМА в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

Реклама публикуется на обложках и внутренних вкладышах следующих размеров

- Первая страница обложки (190x190 мм)
- Вторая, третья и четвертая страницы обложки (200x290 мм)
- Первая, вторая, третья, четвертая страницы внутренней обложки (200x290 мм)
- Вклейка А4 (200x290 мм)
- Разворот А3 (400x290 мм)
- 0,5 А4 (185x130 мм)
- 0,25 А4 (90x130 мм)
- Размер журнала после обрезки 200x290 мм

Контакты:

Тел./факс: (38044) 205-23-90; 200-54-84
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации Все файлы в формате IBM PC
- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 7.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi

Стоимость рекламы и оплата

- Цена договорная
- По вопросам стоимости размещения рекламы, свободной площади и сроков публикации просьба обращаться в редакцию

- Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу
- Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу
- Для постоянных партнеров предусмотрена система скидок
- Стоимость публикации статьи на правах рекламы составляет половину стоимости рекламной площади
- Публикуется только профильная реклама (техническая диагностика и неразрушающий контроль)
- Ответственность за содержание рекламных материалов несет рекламодатель

Подписано к печати 14.09.2017. Формат 60x84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,04. Усл.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24
Печать ООО «ДИА».
03022, г. Киев-22, ул. Васильковская, 45.