

В.Х. Ясовеев, А.А. Абдуллаев, Р.Ю. Мукаев, А.С. Насибуллин, Ю.Г. Кудряшев

МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Мониторинг состояния магистральных трубопроводов – актуальная задача, обеспечивающая высокую надежность функционирования эксплуатирующихся в настоящее время нефтегазовых систем. Одними из основных критериев успешного контроля за состоянием и принятия оперативных мер по ремонту аварийных участков является наглядность измерительной информации и локализация зон с предаварийным состоянием, простота осуществления непрерывных измерений, не требующих дополнительных материальных и человеческих ресурсов на проведение последних, что повышает надежность функционирования систем трубопроводов и сокращает экономические издержки при его эксплуатации.

В условиях подземной прокладки магистральных трубопроводов на границах тектонических разломов земных пластов и участках перехода болот в каменистую местность, в зонах повышенной сейсмической активности и подводных переходов, из-за значительной собственной массы трубопровода, массы грунта, разнообразного надземных построек (дорог, технического оборудования и т.п.), а также из-за неоднородности и неравномерности оседания опорного грунта, образующего площадку для укладки магистрального трубопровода – камней, ледяных глыб (при условии прокладки в зимнее время), строительного мусора (арматурных стержней, трубных конструкций), различной глубины прокладки и пустот в грунте, возможно появление зон с повышенными концентрациями механических напряжений, приводящие к появлению вмятин, гофров, изгибов, изменению геометрических размеров и, следовательно, временно-му прекращению эксплуатации. При этом к номинальным механическим напряжениям, возникающим

главным образом от внутреннего давления рабочей среды, добавляются точечные и местные напряжения и суммарная величина эквивалентных механических напряжений на отдельных участках магистрального трубопровода может превысить предел упругости материала.

Поэтому основной задачей, требующей решения, при проведении мониторинга магистральных трубопроводов является объективное выявление общего числа зон с недопустимыми концентрациями механических напряжений и потенциально опасных с точки зрения скопления в структуре материала подвижных дислокаций, приводящих к изменению механических и магнитных свойств и, как следствие, возможности хрупкого спонтанного разрушения [1].

Известно, что эксплуатирующийся трубопровод находится в напряженном состоянии под воздействием продольных (осевых) и окружных (радиальных) напряжений, действующих ортогонально друг к другу [2].

Продольные напряжения $\sigma_{||p}$ от внут-

реннего давления рабочей среды p_w и температурного перепада Δt принимают условно постоянными (так как величина p_w непостоянна и уменьшается до некоторого установившегося значения с удалением от напорно-перекачивающихся станций) в пределах однородного участка [2]:

$$\sigma_{||p} = \mu \cdot \frac{p_a \cdot D_a}{2 \cdot \delta} + \beta \cdot \frac{p_a \cdot D_a}{2 \cdot \delta} \cdot (1 - 2 \cdot \mu) - (1 - 2 \cdot \beta) \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot E, \quad (1)$$

где $\mu = 0,3$ – коэффициент Пуассона; p_w – внутреннее давление среды (давление рабочей среды), МПа; $D_w = D_n - 2\delta$ – внутренний диаметр трубы, м; D_n – наружный диаметр трубы, м; δ – толщина стенки трубы, м;

$$\beta = \frac{1 + 5\chi^3}{1 + \frac{15\chi^2}{16\eta^2}}; \quad \chi = \frac{D_n}{2l}; \quad \eta = \frac{f}{l}$$

– коэффициенты, зависящие от кривизны участка; l – длина условно однородного участка (протяженность за-

болоченной местности, границы тектонического разлома, сейсмически активного участка, зоны с одинаковым направлением перемещения грунта), m ; f – величина максимального отклонения оси участка от прямой, соединяющей концы участка на длине l (прогиб, изгиб), m ; $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$ – коэффициент линейного расширения стали, $1/^\circ C$; $E = 2,06 \cdot 10^5$ – модуль упругости стали, МПа; Δt – перепад температуры (характеризуется положительной величиной при нагреве). Продольные напряжения от изгибающего момента определяются по формуле [2]:

$$\sigma_{\text{ИМ}} = \pm \frac{EDn}{2r}, \quad (2)$$

где r – радиус изгиба. К условно постоянным продольным напряжениям $\sigma_{\text{И.Р}}$ в действующем трубопроводе добавляются переменные местные $\sigma_{\text{И.Р.М}}$ механические напряжения, имеющие индивидуальные значения и закон изменения, в зависимости от места расположения, носящего случайный характер. Механические напряжения $\sigma_{\text{И.Р.М}}$ зависят от величины давления грунта, которое имеет различные значения, зависящие от толщины грунта, влажности, времени года, температуры, массы надземных объектов и обусловлено ранее указанными факторами: неоднородностью и неравномерностью оседания опорного грунта, вызванные подвижностью земных пластов на границах тектонических разломов, а также имеющих место на участках перехода болот в каменистую местность и зонах с повышенной сейсмической активностью.

Результирующее продольное механическое напряжение от всех воздействий в любом сечении участка определяется сложением следующих величин:

$$\sigma_{\text{И}} = \sigma_{\text{И.Р}} + \sigma_{\text{ИМ}} + \sigma_{\text{И.Р.М}} \quad (3)$$

Кольцевые напряжения σ_{R} зависят от двух силовых факторов: внутреннего давления среды и давления, оказываемого массой грунта покрывающего трубопровод. Их значение определяется для рабочего давления по приближенной формуле для тонкостенных оболочек:

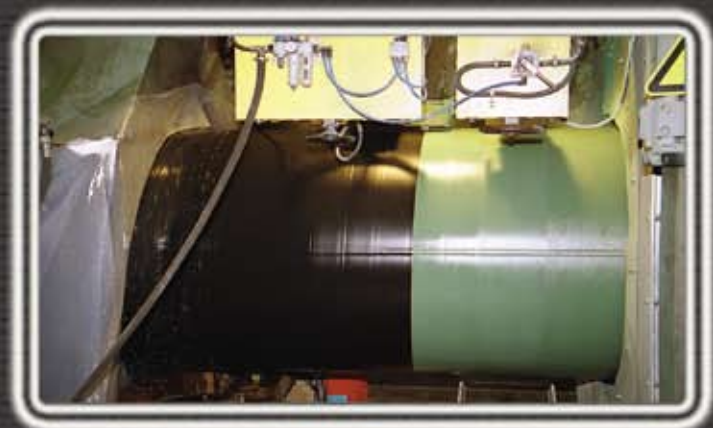
$$\sigma_{\text{R}} = \frac{p_a D_a}{2\delta} + \sigma_{\text{R.Р.Т}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{R.Р.Т}}$ – переменные точечные механические напряжения. Для объективного мониторинга магистрального трубопровода также следует учитывать коррозионные процессы, имеющие место при повреждении гидроизоляции, транспортировке агрессивных сред, а также при химической активности материала трубопровода, возрастающей под влиянием «вихревых» токов, возникающих из-за неконтролируемого – «шумового» – распространения электромагнитных волн. Таким образом, параметры, влияющие на исправность контролируемого объекта, зависят от многих факторов, изменяющихся по различным законам, описание которых вы-

КЭИТ

ООО «Копейский завод изоляции труб»

Россия, 456656, Челябинская обл., г. Копейск,
пос. Железнодорожный, ул. Мечникова, 1
тел. (3512) 70-93-59 тел./факс: (3512) 62-39-16
www.kzit.ru e-mail: kzit@chel.surnet.ru



I. Изоляция

Имеющееся на заводе оборудование позволяет наносить следующие виды антикоррозионных покрытий: эпоксидное, двух и трёхслойное экструдированное. Диаметр изолируемых труб с 273 по 1420 мм. Проектная мощность 300 км усреднённого диаметра (1020мм) в год. В 2004 году получены положительные результаты испытаний заводского покрытия на соответствие Техническим требованиям ОАО «АК» Транснефть. Трубы завода с наружным защитным покрытием используются при капитальном ремонте и строительстве газопроводов ОАО «Газпром».

II. Изготовление гнутых отводов

Создан и успешно функционирует цех по изготовлению гнутых отводов как из изолированных так и из чёрных труб диаметром от 219мм до 1420мм включительно. Гнутые отводы соответствуют требованиям ГОСТ 24950-81 и ТУ 1468-013-00154341-03.

III. Восстановление труб бывших в эксплуатации

Введён в строй цех по восстановлению труб бывших в эксплуатации диаметром от 530 мм до 1420мм, мощность цеха 100 км в год усреднённого диаметра (1020мм).



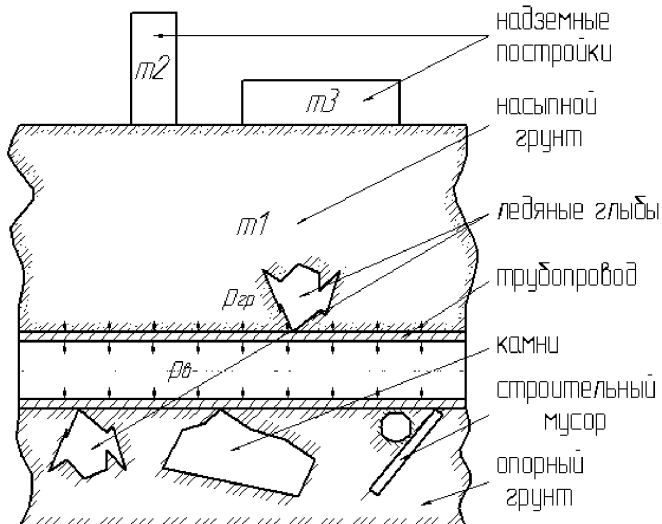


Рисунок 1

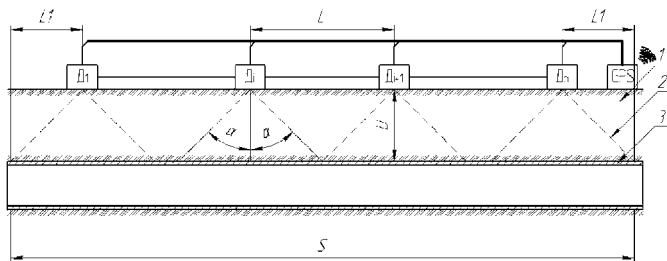


Рисунок 2

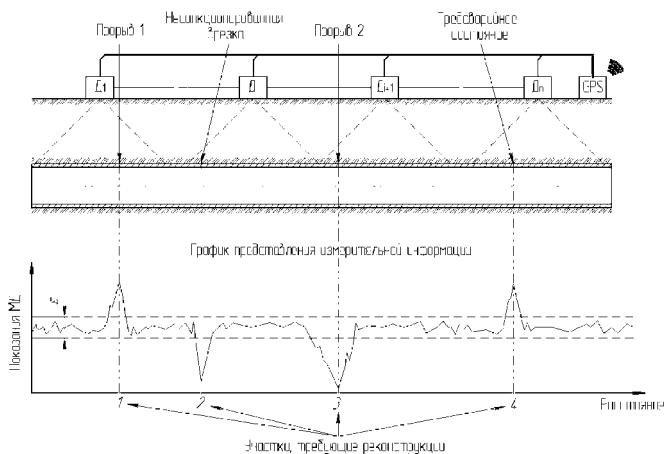


Рисунок 3

зывает определенные трудности и низкое соответствие действительности. Следовательно, прогнозирование состояния трубопровода, основанное на теоретических расчетах является сложной задачей, а результат - необъективным. Поэтому мониторинг магистрального трубопровода должен проводиться на основе измерительной информации, включающей в себя данные о механическом и химическом состоянии материала.

Трудоемкость осуществления постоянного мониторинга возрастает вследствие необходимости определения механического напряжения в каждой точке контролируемого участка, а так как наиболее распространенные магни-

тометрические методы неразрушающего контроля (НК), ориентированы на непосредственную близость расположения измерительного устройства над объектом контроля (не более 3 мм [3]), а расстояние на плоскости от точки измерения до дефекта - не превышающем 100 мм [3], то, учитывая большую протяженность и различное расположение - подземного, подводного - магистральных трубопроводов, а также необходимость в раскопке всего контролируемого участка и большом количестве датчиков, требуются дополнительные работы, сопровождающие процесс измерения и материальные средства, что делают эти методы нецелесообразными, как требующие больших экономических и временных затрат. Оптимальным решением этой проблемы является использование нового магнитометрического метода мониторинга (МММ) магистральных трубопроводов, лишенного указанных недостатков.

Информация о состоянии трубопровода сформирована в результате анализа изменения магнитной картины (МК), сформированной на взаимодействии магнитных полей земли и трубопровода, и построенной на основе измеренных магнитных величин, по итогам которых принимается решение о необходимости проведения ремонтных работ на потенциально опасных участках.

Измерения основаны на использовании магнитоупругого эффекта, суть которого заключена в способности ферромагнитных материалов изменять свои магнитные свойства под действием внешних механических напряжений, а также на влиянии коррозии на механические и магнитные свойства сталей, т.е. изменение магнитных характеристик магистрального трубопровода зависят от суммарного давления и коррозионного состояния последнего.

Структурная схема МММ представлена на рис. 2

где $D_1...D_n$ – бесконтактные магнитные датчики (МД); GPS – устройство, содержащее GPS-передатчик и накопитель информации; 1 – грунт; 2 – граница рассеивания эффективного излучения бесконтактного магнитного датчика; 3 – трубопровод; D – толщина грунта до поверхности трубопровода; L – расстояние между соседними датчиками; L_1 – расстояние между крайним датчиком и границей контролируемого участка трубопровода; α – телесный угол от нормали до границы рассеивания; S – суммарный контролируемый участок магистрального трубопровода.

В МММ, каждый МД контролирует определенную площадь Z_k . Телесный угол характеризует зону контроля Z_k , которая определяется соотношением

$$Z_k = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Так как у современных трубопроводов внешний диаметр не превышает 2000 мм и активная площадь контроля в несколько раз меньше пассивно контролируемой, то от телесного угла α , без значительных погрешностей для результатов из-

мерения, можно перейти к плоскостному углу β , на основе которого можно определить расстояния L установки МД друг от друга, определяемое по формуле:

$$L = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (6)$$

По результатам экспериментов было получено, что угол β равен 45° , точность измерений снижается при глубине прокладки трубопровода D более 5,5 м и, так как $\operatorname{tg}(45^\circ) = 1$, то расстояние между соседними МД будет равно: $L = 2 \cdot D$.

Таким образом, каждый МД контролирует участок длиной L , следовательно, суммарный контролируемый участок магистрального трубопровода вычисляется по формуле: $S = (n - 1) \cdot L + 2 \cdot L_1$, где n – количество МД, или, учитывая что $L = 2 \cdot L_1$

$$S = (n - 1) \cdot L + L = nL \quad (7)$$

Процесс МММ осуществляется следующим образом: после установки МД над линией прокладки трубопровода в течение нескольких часов производится накопление статистических данных, создающих базу данных (БД), на основе которых формируется допустимый интервал значений измерительной информации, выход за пределы которого свидетельствует об аномалиях в состоянии трубопровода на контролируемом участке. Накопление информации и пополнение значений БД производится в течение всего времени функционирования системы мониторинга, в результате которого происходит уточнение и корректировка допустимого интервала значений измерительной информации, включающие в себя сезонные изменения температуры, влажности воздуха, изменения структуры грунта и почвы, колебания массы

надземных построек и т.д.

На рисунке 3 приведен пример, иллюстрирующий работу МММ магистрального трубопровода. Величина ϵ является зоной допустимых отклонений измерительного сигнала. В точках 1 и 3 имеет место разрушение целостности материала (прорыв), в точке 4 – место концентрации механических напряжений, значительная глубина коррозии, характеризующих предаварийное состояние. Измерительная информация от каждого МД накапливается в памяти передающего устройства и отсылается GPS-передатчиком в пакетном режиме с интервалом времени t . После приема и преобразования информации программой обработки, находящейся в диспетчерском пункте, на экране монитора отображается суммарный контролируемый участок трубопровода с характеристиками состояния в каждой точке, а также выделяются и локализуются участки трубопровода, имеющие аварийные сигналы.

В заключении следует отметить, что на основе работы МММ происходит контроль целостности конструкции трубопровода и становится возмож-

ным сигнализация несанкционированных врезок на контролируемом участке (см. рис.3, точка 2) магистрального трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. -3 изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1990. с.77;
2. Агинеи Р.В., Кузьбожев А.С., Теплинский Ю.А., Андронов И.Н. Коэрцитиметрический контроль трубопровода в условиях двухосного напряженного состояния // Контроль. Диагностика. 2005. №6;
3. Агинеи Р.В., Кузьбожев А.С. Особенности контроля технического состояния газопроводов по коэрцитивной силе металла // Контроль. Диагностика. 2006. №1;

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБЪЕКТНОЙ СЕТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

НЕФТЕМАШ

ТЮМЕНЬ

**Оборудование для поддержания пластового давления.
Автоматизированные групповые измерительные установки.
Насосные станции для перекачки различных сред.
Установки подготовки нефти, газа и воды.
Оборудование противопожарного назначения.
Блоки административно-бытового назначения.**

ОАО «НЕФТЕМАШ» Адрес: 625003, Россия, г. Тюмень, ул.Военная, 44
приемная тел.: (3452) 43-01-03, отдел маркетинга: т./ф: (3452) 43-22-39
отдел сбыта: телефон/факс: (3452) 43-99-10, 43-22-13
E-mail: girs@neftemashtmn.ru URL: www.neftemashtmn.ru

