

БЕСКОНТАКТНОЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Дубов Ан.А., д.т.н., ООО «Энергодиагностика» (Москва, Россия)

Дубов Ал.А., к.т.н., ООО «Энергодиагностика»

В настоящее время для оценки состояния подземных участков магистральных газонефтепроводов широко применяются магнитные и ультразвуковые внутритрубные снаряды-дефектоскопы. Однако значительная часть газонефтепроводов и практически все областные и городские газовые сети России непригодны для внутритрубной диагностики. С этой целью для контроля состояния подземных участков этих трубопроводов ряд российских и зарубежных фирм применяют бесконтактную магнитометрическую диагностику при наземном обследовании.

В работе [1] представлен анализ эффективности диагностического обследования линейной части газопроводов с использованием существующих методов и средств контроля. Рассмотрены проблемы и ограничения по каждой технологии обследования магистральных газопроводов (МГ), которые отражают личный авторский опыт длительного наблюдения за процессом и непосредственного участия в применении этих технологий на практике. Большое внимание в статье [1] уделено рассмотрению эффективности внутритрубной диагностики (ВТД). Однако известно, что значительная часть МГ непригодна для выполнения ВТД с использованием снарядов-дефектоскопов. В связи с этим обстоятельством в статье недостаточно раскрыты возможности метода магнитометрической диагностики напряженно-деформированного состояния (НДС) подземных (подводных) участков газонефтепроводов.

В работах [2–4] представлены основные положения бесконтактного магнитометрического диагностирования (БМД) подземных участков трубопроводов

различного технологического назначения. В указанных работах неоднократно отмечены основные условия получения приемлемой эффективности БМД. Во-первых, это качественный съем информации о распределении магнитного поля вдоль трассы трубопровода и, во-вторых, получение достоверных данных о фактическом НДС трубопровода в результате обработки этой информации с использованием программного продукта. При этом основной задачей БМД при оценке состояния трубопроводов, находящихся в длительной эксплуатации, являются поиск и определение потенциально опасных участков с развивающимися повреждениями.

Окончательная эффективность БМД устанавливается при дополнительном контроле трубопроводов в местах шурфовок, определяемых по результатам обработки информации с использованием специализированного программного продукта. Здесь следует отметить, что технология БМД основана на физических основах и диагностических параметрах, разработанных и используемых в методе магнитной памяти ме-



Рис. 1. Проведение БМД с использованием приборного комплекса по методу магнитной памяти металла

талла (МПП) (рис. 1). При обработке магнитограмм, полученных при БМД, используется программа «МПП-Система» с дополнительным блоком для БМД.

В результате длительного применения методов МПП и БМД и на основе фундаментальных теоретических работ [5, 6] ООО «Энергодиагностика» раз-

работало специализированный программный продукт, позволяющий с вероятностью 80 % и более определять участки подземных трубопроводов с развивающимися повреждениями.

Известно, что трубопроводы работают в условиях изгибных и скручивающих нагрузок. При этом основным видом деформации является скольжение или деформация сдвига в зонах концентрации напряжения (ЗКН). В работе [6] представлен механизм формирования магнитных аномалий в условиях сдвиговой деформации, когда магнитные плоскости и плоскости скольжения совпадают. Показано, что при достижении угла скольжения ($\alpha_{ск}$) по отношению к осевой нагрузке предельного значения, соответствующего пределу прочности металла, начинаются трещинообразование и развитие повреждения. На макроуровне этот эффект проявляется в особой ориентации собственного магнитного поля рассеяния (СМПР) трубопровода и, соответственно, на магнитограмме, фиксируемой с поверхности земли при выполнении БМД. Именно этот магнитомеханический эффект используется в специальном программном продукте при обработке магнитограмм, полученных при БМД.

На рис. 2 представлен приборный комплекс для БМД, изготавливаемый серийно предприятием «Энергодиагностика». Комплекс состоит из измерителя концентрации напряжений (ИКН) и сканирующего устройства (СУ), размещаемых на шасси дорожного колеса.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Основной задачей всех методов и средств диагностики при оценке состояния газонефтепроводов, находящихся в длительной эксплуатации, является поиск (или определение) потенциально опасных участков с развивающимися повреждениями. В результате обследования необходимо



Рис. 2. Внешний вид приборного комплекса для БМД: 1 – универсальная головка; 2 – узел счета длины; 3 – складная опорная стойка; 4 – датчик Тип 11; 5 – ручка; 6 – узел крепления измерительного прибора ИКН; 7 – узел крепления датчика Тип 11; 8 – дорожное колесо

ответить на вопрос: где и когда следует ожидать повреждения или аварии? Если такая задача решается, то обеспечивается возможность своевременной замены или ремонта потенциально опасного участка. Именно на решение этой задачи направлено применение БМД в сочетании с дополнительным контролем трубопроводов в шурфах (методом МПМ, ультразвуком, вихретоком и др.).

В целях определения эффективности технологии БМД с использованием указанного приборного комплекса и программного продукта специалистами ООО «Энергодиагностика» выполнен ряд практических работ. При этом была поставлена задача – определить достоверность БМД по результатам дополнительного дефектоскопического контроля (ДДК) в шурфах, намечаемых на ос-

нове обработки магнитограмм, зафиксированных при наземном обследовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ БМД ГАЗОПРОВОДОВ

В октябре 2018 г. специалистами ООО «Энергодиагностика» по договору с АО «Мособлгаз» выполнено БМД подземных участков газопроводов $\varnothing 219 \times 8$ мм, находящихся в эксплуатации ~ 46 лет. Суммарная протяженность проконтролированных участков составила 2800 м. В результате БМД выявлены магнитные аномалии, характеризующие участки с наличием ЗКН – источников развивающихся повреждений.

Все аномалии были разделены на три категории:

- аномалии I категории – участки газопроводов с максимальными ЗКН, на которых угол скольжения достигал предельного значения $\alpha_{ск}^{пред}$;
- аномалии II и III категории – участки газопровода соответственно с высокими и средними значениями $\alpha_{ск}$ (разделение условное).

При обработке магнитограмм, зафиксированных при БМД, с использованием специализированного программного обеспечения выявлены 44 аномалии, из которых:

- I категории – 3 шт.;
- II категории – 9 шт.;
- III категории – 32 шт.

Протяженность аномалий всех категорий составила 198 м, или 6,9 % от общей длины проконтролированных участков.

Для подтверждения результатов БМД было рекомендовано сделать три шурфа для ДДК в аномалиях I категории с предельными значениями $\alpha_{ск}^{пред}$. При выполнении ДДК газопроводов в шурфах были обнаружены различные повреждения металла и сварных соединений. В шурфе №1 при ультразвуковом контроле поперечного сварного соединения зафиксирован значительный непровар с развивающейся трещиной. В шурфе

№ 2 обнаружена поперечная трещина длиной 17 мм, а при УК по толщине стенки на глубину ~ 7 мм (при номинальной толщине 8 мм) зафиксировано развитие этой трещины протяженностью ~ 70 мм. В шурфе №3 обнаружены коррозионные язвы (коверны) различных размеров по глубине и площади.

За период с 2014 по 2021 г. специалисты ООО «Энергодиагностика» совместно с фирмой SC Omnicom SRL провели комплексный контроль 300 км подземных участков газопроводов ООО «Молдоватрансгаз» с использованием БМД и ДДК в шурфах. Во всех шурфах (более 60) при ДДК визуально-измерительным, МПМ, ультразвуковым и вихретоковым методами были обнаружены различного вида повреждения металла и сварных соединений труб. Наиболее типичные повреждения – развивающиеся трещины в кольцевых сварных соединениях и язвы коррозии основного металла в ЗКН.

Эффективный результат применения специализированной программы обработки магнитограмм, зафиксированных при БМД, получен, например, при контроле подземных газопроводов Ø530 мм в июне 2021 г. Первичная информация о распределении магнитного поля вдоль трассы газопроводов протяженностью 90 км снята специалистами фирмы SC Omnicom SRL с использованием приборного комплекса, представленного на рис. 2. Специалисты проходили аттестацию в НОАП ООО «Энергодиагностика». Полученные данные БМД направлялись для обработки в ООО «Энергодиагностика» с целью классифицировать аномалии магнитного поля, характеризующие ЗКН, по категориям опасности и назначения мест шурфования. Дополнительный дефектоскопический контроль проводился специалистами ООО «Энергодиагностика». Было сделано 13 шурфов, в которых выполнен ДДК методами ВИК, МПМ, УК. При этом длина участ-

ков для шурфования составляла не более 9 м. Оценка механических свойств металла в ЗКН и вне этих зон выполнялась по измерению твердости в соответствии с [7]. Во всех 13 шурфах были обнаружены дефекты в основном металле (язвы коррозии на наружной и внутренней стенках, биокоррозия) и в сварных соединениях в виде развивающихся трещин в местах неповаров. В 11 шурфах дефекты металла и сварных соединений оказались недопустимыми согласно [8]. Следует отметить, что в четырех шурфах из семи, где выявлены язвы биокоррозии, состояние изоляции по визуаль- ному контролю было удовлетворительное. Вскрытие изоляции выполнялось в ЗКН, выявленных методом МПМ.

Представленные примеры применения БМД с использованием приборного комплекса (рис. 2) и специализированной программы обработки данных показывают высокую эффективность такого способа оценки состояния газопроводов, находящихся в длительной эксплуатации.

Высокая достоверность БМД и вероятность обнаружения дефектов подтверждены ДДК в шурфах.

При этом очень важными условиями получения такой достоверности БМД являются:

- выбор оптимальной скорости движения специалиста вдоль трассы без потери достоверной информации (магнитных параметров) о состоянии трубопровода;
- определение оси трубопровода с помощью трассоискателя и расположения трубопровода на местности с помощью GPS-навигатора;
- подготовка трассы для контроля и отстройка от помех, встречающихся на пути движения специалистов вдоль трассы (линий электропередачи, автодорог, металлических препятствий, зданий и сооружений и др.);
- обработка результатов контроля и классификация магнитных аномалий по категориям опасности

развития повреждений трубопровода;

- выбор участков для первоочередного вскрытия грунта (шурфовки) и ДДК.

Кроме того, при расшифровке магнитограмм необходимо учитывать специфические условия и конструктивные особенности обследуемых трубопроводов.

При этом у заказчика возникает вопрос о возможности распространения результатов непосредственного контроля трубопроводов в шурфах на всю протяженность трассы, где применялась только БМД.

Для ответа на этот вопрос выполняется поверочный расчет на прочность в соответствии с отраслевыми методиками и стандартами с учетом выявленных дефектов и фактических механических свойств металла газопроводов в местах шурфовок. При этом участки труб с недопустимыми дефектами по действующим отраслевым стандартам рекомендуется заменить или выполнить их ремонт, а для участков, на которых выполнялся поверочный расчет на прочность, дается рекомендация с назначенным сроком безопасной эксплуатации.

С 2010 по 2021 г. специалисты ООО «Энергодиагностика» систематически выполняют работы по БМД с подтверждением результатов в шурфах в основном на газопроводах областных газовых сетей России (рис. 3) в соответствии с руководством по безопасности [9], утвержденным Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ. Также выполняется контроль нефтепроводов ПАО «НОВАТЭК» (рис. 4). Проводятся аналогичные работы в зарубежных странах: Польше, Чехии, Молдове, Китае, Малайзии, Объединенных Арабских Эмиратах, Аргентине, Бразилии.

К сожалению, в ПАО «Газпром» такие работы по БМД газопроводов в последние годы практически прекратились. В 2014 г. в ПАО «Газпром»



Рис. 3. Запись магнитограмм над осью трубопровода при наземном обследовании

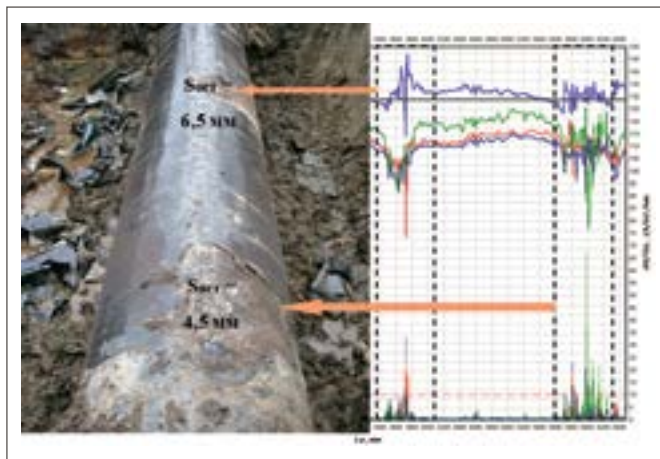


Рис. 4. Результаты контроля трубопровода Ду 1020 в шурфе в максимальной зоне концентрации напряжений

были утверждены «Временные технические требования к оборудованию для бесконтактной дистанционной магнитометрии газопроводов при наземном обследовании» [10].

В марте 2015 г. на трехкилометровом подземном участке газопровода $\varnothing 1020$ мм ООО «Газпром трансгаз Югорск» по программе ПАО «Газпром» проведены сравнительные испытания технологии БМД с результатами ВТД. В испытаниях участвовало пять диагностических фирм с различными средствами контроля. ООО «Энергодиагностика» принимало участие с диагностическим комплексом, представленным на рис. 2. По результатам БМД и их сравнения с ВТД на указанном участке газопровода специалистами ООО «Энергодиагностика» составлен отчет, в котором отме-

чена их высокая сходимость. В двух контрольных шурфах при ДДК были выявлены недопустимые дефекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение необходимо отметить, что новая технология БМД на основе использования природного явления – магнитной памяти металла активно развивается в России и других государствах. По состоянию на 2022 г. эта технология получила распространение в 46 странах мира.

Международный комитет по исследованиям трубопроводов (PRCI) в 2014 г. включил метод магнитной памяти металла в число LSM-методов (семейство дистанционных методов контроля), предназначенных для оценки напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов любого

назначения. PRCI – это сообщество ведущих мировых трубопроводных компаний, а также поставщиков услуг, производителей оборудования и других заинтересованных организаций. ■



ООО «Энергодиагностика»
143965, Россия, Московская обл.,
г. Реутов, Юбилейный просп.,
д. 8, пом. XII
Тел.: +7 (498) 661-61-35
Факс: +7 (498) 661-92-81
E-mail: mail@energodiagnostika.ru
www.energodiagnostika.ru

на правах рекламы

ЛИТЕРАТУРА

1. Велиулин И.И., Городниченко В.И., Александров В.А. и др. Аналитические и технические аспекты диагностики линейной части газопроводов // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2021. № 7–8. С. 44–55.
2. Дубов Ан.А. Бесконтактная диагностика газонефтепроводов с использованием магнитометрических измерителей концентрации напряжений // Газовая промышленность. 2009. № 12 (639). С. 48–51.
3. Дубов Ан.А., Дубов Ал.А. Опыт применения бесконтактной магнитометрической диагностики трубопроводов и перспективы ее развития // Контроль. Диагностика. 2014. № 4. С. 64–67.
4. Дубов Ан.А., Дубов Ал.А. Бесконтактная магнитометрическая диагностика сварных соединений магистральных газопроводов, предрасположенных к внезапным разрушениям // Газовая промышленность. 2014. № 5 (712). С. 35–38.
5. Власов В.Т., Дубов Ан.А. Физические основы метода магнитной памяти металла. М.: Тиссо, 2004. 424 с.
6. Власов В.Т., Дубов Ан.А. Физическая теория процесса «деформация – разрушение». Ч. I. Физические критерии предельных состояний металла. М.: Тиссо, 2007. 517 с.
7. Матюнин В.М. Индентирование в диагностике механических свойств материалов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 288 с.
8. СТО Газпром 2-2.4-083-2006. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. М.: Газпром, 2006. 126 с.
9. Руководство по безопасности. Инструкция по техническому диагностированию подземных стальных газопроводов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456041817> (дата обращения: 05.04.2022).
10. Временные технические требования к оборудованию для бесконтактной дистанционной магнитометрии газопроводов при наземном обследовании [Электронный ресурс]. Режим доступа: ограниченный.