

МЕТОД ТОМОГРАФИИ МАГНИТНЫХ ГРАДИЕНТОВ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Воейков Денис Романович

Генеральный директор ООО «АКОРД-Технолоджи»
denis.voeikov@acord-technology.com

Колесников Игорь Сергеевич

Технический консультант, автор изобретения
igor@igsat.com

Концов Роман Валерьевич

к.т.н., Инженер-конструктор ООО «АКОРД-Технолоджи», info@acord-technology.com

Пивоваров Михаил Михайлович

редактор ООО «АКОРД-Технолоджи»
pivovarov.mm@yandex.ru

Согласно требованиям отечественной нормативной базы, основным методом технического диагностирования морских подводных трубопроводов (далее – МПТ) является внутритрубная дефектоскопия (далее – ВТД). Это накладывает определенные ограничения на операторов трубопроводов из-за сложности и трудоемкости такого вида работ, кроме того, проведение ВТД имеет риски застревания инспекционных снарядов, что влечет за собой дополнительные сложности и последствия. Необходимость следовать регламентам нормативной базы в условиях действующих ограничений делает экономическую эффективность такой диагностики МПТ крайне низкой.

В данных условиях операторы трубопроводов ищут и исследуют возможности различных альтернативных средств диагностики, которые не только бы позволили проводить обследования удобнее и экономичнее, но и смогли бы охватить те трубопроводы, которые не подлежат ВТД из-за конструктивных особенностей, таких как отсутствие камер пуска-приема.

Кроме того, применение стандартных (классических) диагностических средств и методов часто

является недостаточным для обеспечения целостности и безопасной эксплуатации МПТ, поскольку такие средства направлены только на выявление и определение размеров дефектов. Но дефекты не всегда являются качественным показателем целостности и безопасности трубопровода.

Отечественные нормативные требования, равно как и зарубежные, учитывают необходимость контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода для проведения комплексной диагностики, однако почти не регламентируют способы и технологии проведения оценки НДС.

Учитывая накопленный опыт и мировую практику, можно утверждать, что часто дефекты не являются источником реальной опасности, и что не все идентичные дефекты одинаково опасны. Схожие дефекты будут представлять разную опасность, если подвержены разному уровню внешних нагрузок. В то же время, дефекты малого размера (допустимые), могут быть намного более опасными, чем критические недопустимые дефекты, если первые находятся на участках повышенных нагрузок и деформаций (Рис. 1).

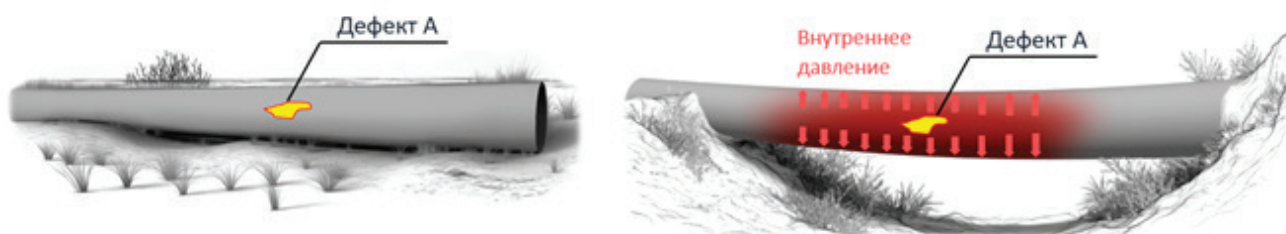


Рис. 1 Дефекты под разными нагрузками

Зная это, необходимо проводить оценку уровня и распределения действующих механических напряжений при техническом диагностировании трубопроводов, особенно в местах провисов, изгибов, на участках нестабильных грунтов, подвер-

женных сейсмическим, тектоническим и оползневым процессам, в условиях сильных донных течений и т. д.

Для этих целей во многих странах активно применяется Метод Томографии Магнитных Градиен-

тов (далее – МТМ-Г) – технология бесконтактной магнитометрической диагностики ферромагнитных трубопроводов, направленная на корректную оценку их целостности с точки зрения действующих механических напряжений в условиях рабочих нагрузок.

МТМ-Г запатентован в РФ и за рубежом, а для работы по нему ООО «АКОРД-Технолоджи» были разработаны магнитометры «КОРД», прошедшие сертификацию в РФ и внесенные в государственный реестр средств измерений.

МТМ-Г и магнитометры «КОРД» успешно рекомендовали себя как надежное средство для

диагностики как сухопутных трубопроводов, не подлежащих ВТД (unpiggable) и тех, где применение стандартных средств диагностики нецелесообразно и затруднено (difficult to inspect pipelines), так и МПТ любого назначения, диаметра и длины.

Выполненные для более, чем 10 компаний-операторов работы по комплексной оценке целостности трубопроводов (health and integrity assessment) на различных глубинах в морях, проливах, заливах, а также в особо сложных условиях прибрежного мелководья (Аравийское море) и на суше, а также результаты проводимых верификаций и проведенных ремонтов только подтверждают эффективность такой диагностики (Рис. 2).

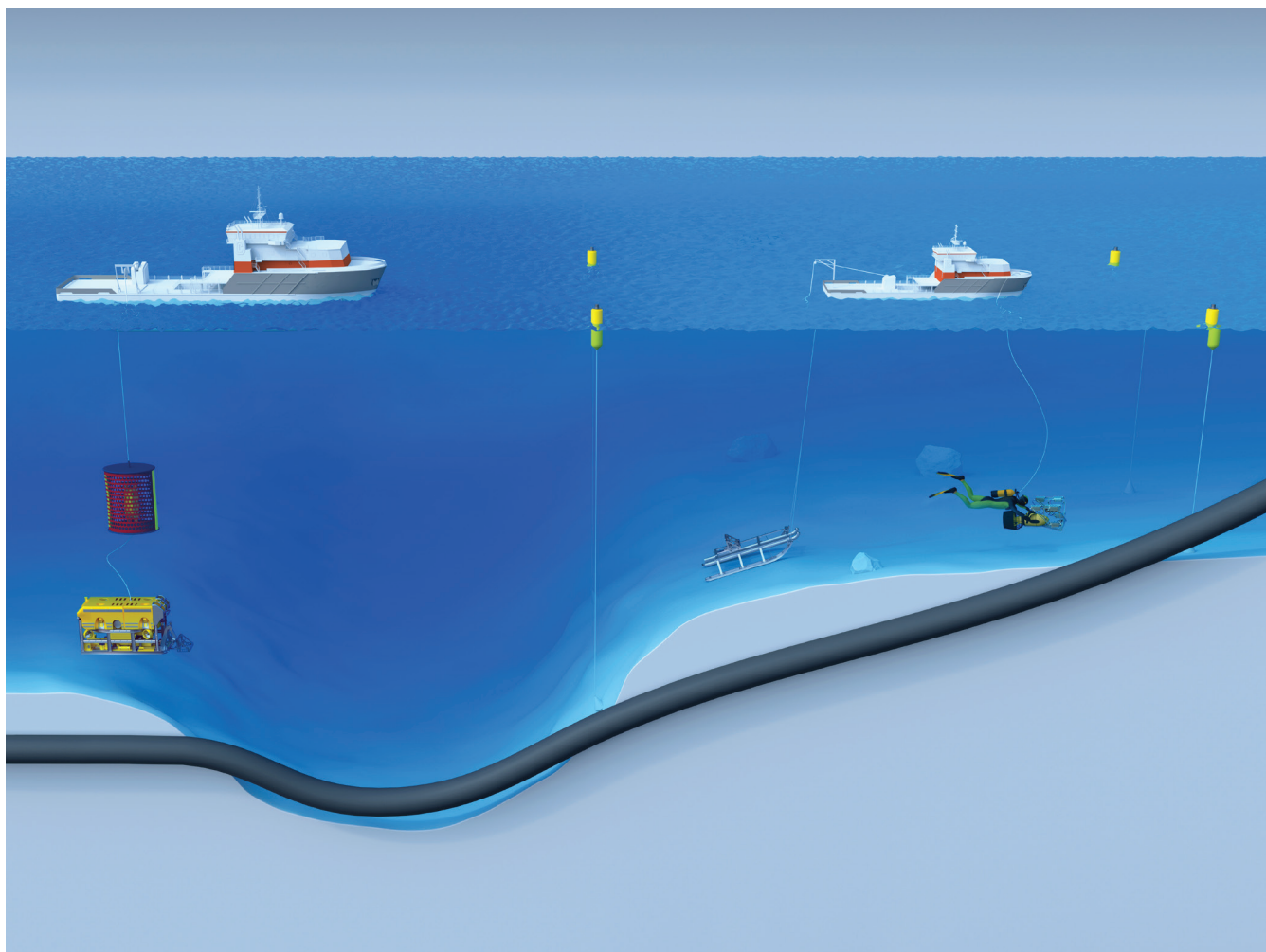


Рис. 2 Применение МТМ-Г на различных глубинах

Подход МТМ-Г к оценке целостности трубопроводов отличается от классического понимания. МТМ-Г не направлен на выявление дефектов и определение их размеров как таковых. В ходе магнитометрического обследования регистрируются изменения в магнитном поле трубопровода (аномалии), вызванные изменением механических напряжений. Такие изменения могут быть обусловлены либо наличием дефектов, либо напряженно-деформированным состоянием или же совокупностью этих факторов (Рис. 3).

Каждая выявленная аномалия оценивается по уровню отклонения от зафиксированных во время обследования фоновых значений магнитного поля, что позволяет определить величину изменения механических напряжений и провести оценку опасности такой аномалии с точки зрения действующих нагрузок. Экспериментально установлено, что чувствительность магнитометров «КОРД» позволяет зафиксировать магнитную аномалию при отклонении механических напряжений от фона более, чем на 0.5% предела текучести

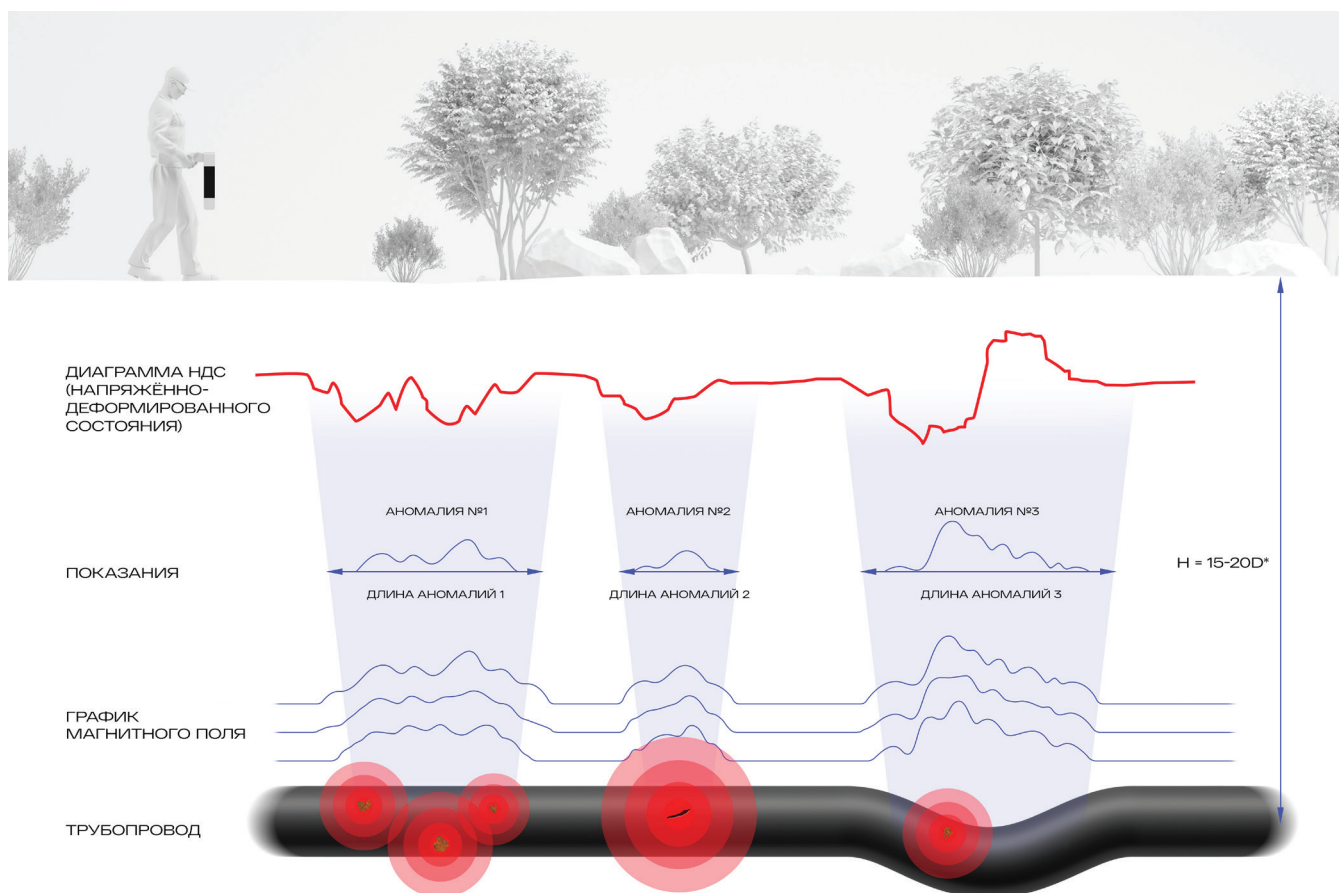


Рис. 3 Принцип работы МТМ-Г



Рис. 4 ТНПА с магнитометром КОРД

[G0.2] и сохранять доверительный уровень 95% на всем диапазоне напряжений и упругой зоне.

Для МТМ-Г обследования магнитометры «КОРД» разработаны в нескольких вариантах исполнения – глубоководное, мелководное, сухопутное.

Для диагностики МПТ на глубинах от 15 до 3000 м магнитометр устанавливается на ТНПА тяжелого класса, способный обеспечить непрерывное равномерное движение по оси трубопровода, в том числе заглубленного под грунтом. МТМ-Г не имеет ограничений по условиям пролегания трубопровода, потому обследование может выполняться по всей его длине от райзера до PLEM, PLET или приемной станции на берегу со скоростью до 20 км в сутки. С 2020 года проведены инспекции более 60 трубопроводов общей длиной более 1000 км в акваториях Аравийского, Средиземного, Красного морей и Персидского залива (Рис. 4).

В условиях мелководья, где применение ТНПА невозможно МТМ-Г обследование проводится с применением подводного буксируемого средства и/или водолазов со скоростью обследования до 10 км в сутки. Компанией уже были выполнены работы по сплошному бесконтактному МТМ-Г обследованию МПТ на прибрежных участках Суэцкого залива и Аравийского моря в объеме более 200 км (Рис. 5, 6). Заказчиками-операторами проведены верификационные шурфования на суше и в зонах отливных-приливных сил, а также ремонтные работы на выявленных наиболее опасных аномалиях.



Рис. 5 Обследование мелководного участка МПТ

Результаты обследования сухопутных трубопроводов как в РФ, так и за рубежом, регулярно подтверждаются путем шурфования аномалий различной степени опасности. Корректное ранжирование выявленных аномалий с подтвержденной вероятностью идентификации (POI) не ниже 95% и рассчитанные параметры безопасной эксплуатации (безопасное рабочее давление Рбез, Коэффициент Безопасного Давления ERF/КБД) позволяют операторам планировать дальнейшее техническое обслуживание, мониторинг и ремонты.

В последние годы отмечается повышение интереса к бесконтактной магнитометрической диагностике и у компаний-операторов в России, в первую очередь с целью применения на трубопроводах, не подлежащих ВТД. Одной из причин этого являются подтвержденные случаи отказов/разрывов трубопроводов в результате деформаций из-за воздействия пучинистых грунтов в районах Крайнего Севера и в сложных горно-геологических условиях на участках, подверженных оползневым процессам. Предотвращение аварий трубопроводов – главная цель применения МТМ-Г – надежного средства для превентивной диагностики и оценки целостности трубопроводов.



Рис. 6 Обследование прибрежного участка МПТ