



ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ТОМОГРАФИИ МАГНИТНЫХ ГРАДИЕНТОВ

Авторы: Воейков Денис Романович – Генеральный директор ООО «АКОРД-Технолоджи».
Колесников Игорь Сергеевич – технический консультант, автор изобретения, патентообладатель.

Поддержание работоспособности и оценка технического состояния подводных трубопроводов – одна из наиболее трудоемких задач в нефтегазовой отрасли. Системы подводных технологических и магистральных трубопроводов на разных глубинах, в разных климатических условиях, на участках с нестабильным морским дном под влиянием морских течений и на участках карстовых разломов и сейсмоактивных регионах подвержены высокому риску. Сбой в работе одного элемента таких сложных транспортировочных систем может привести к остановке всего процесса, а своевременное и оперативное реагирование на внештатную ситуацию зачастую невозможно.

В отличие от сухопутных трубопроводов, к подводным применяются повышенные требования безопасности из-за вышеперечисленных внешних условий, определяющих порядок своевременного обслуживания, обследования и ремонта. Прокладка трубопровода в агрессивной морской среде повышает вероятность

возникновения дополнительных постоянных и циклических механических нагрузок, которые приводят к появлению участков напряженно-деформированного состояния, способствующих развитию локальных напряжений в дефектных и бездефектных областях, что в свою очередь значительно увеличивает риск аварии. Аварии,

произшедшие в силу данных причин, доказывают необходимость не только выявления дефектов, но и оценки механических напряжений, действующих как в отдельных зонах дефектов, так и распределенных по длине трубопровода при мониторинговых исследованиях.

Классический подход к оценке безопасности трубопроводов основан на определении геометрических размеров дефектов и расчете механических напряжений методом конечных элементов. Но абсолютно одинаковые по размерам дефекты на одном и том же трубопроводе могут представлять совершенно разную опасность в зависимости от действующих местных нагрузок, вызванных в том числе сторонними факторами. Такие факторы, как правило, не учитываются при применении классических методов диагностики и контроля, либо для их оценки просто используют дополнительные постоянные весовые коэффициенты. Более того, далеко не все трубопроводы можно обследовать классическими средствами диагностики в виду различных конструктивных, эксплуатационных и внешних обстоятельств.

МТМ-Г ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ТНПА

Бесконтактный магнитометрический Метод Томографии Магнитных Градиентов (далее – МТМ-Г), разработан в РФ для оценки целостности стальных трубопроводов, особенно тех, к которым применение классических средств диагностики невозможно либо затруднено. Метод успешно применяется операторами трубопроводов из числа стран БРИКС и ОПЕК+ для комплексной диагностики на различных глубинах. Главная цель такой



Рис. 1

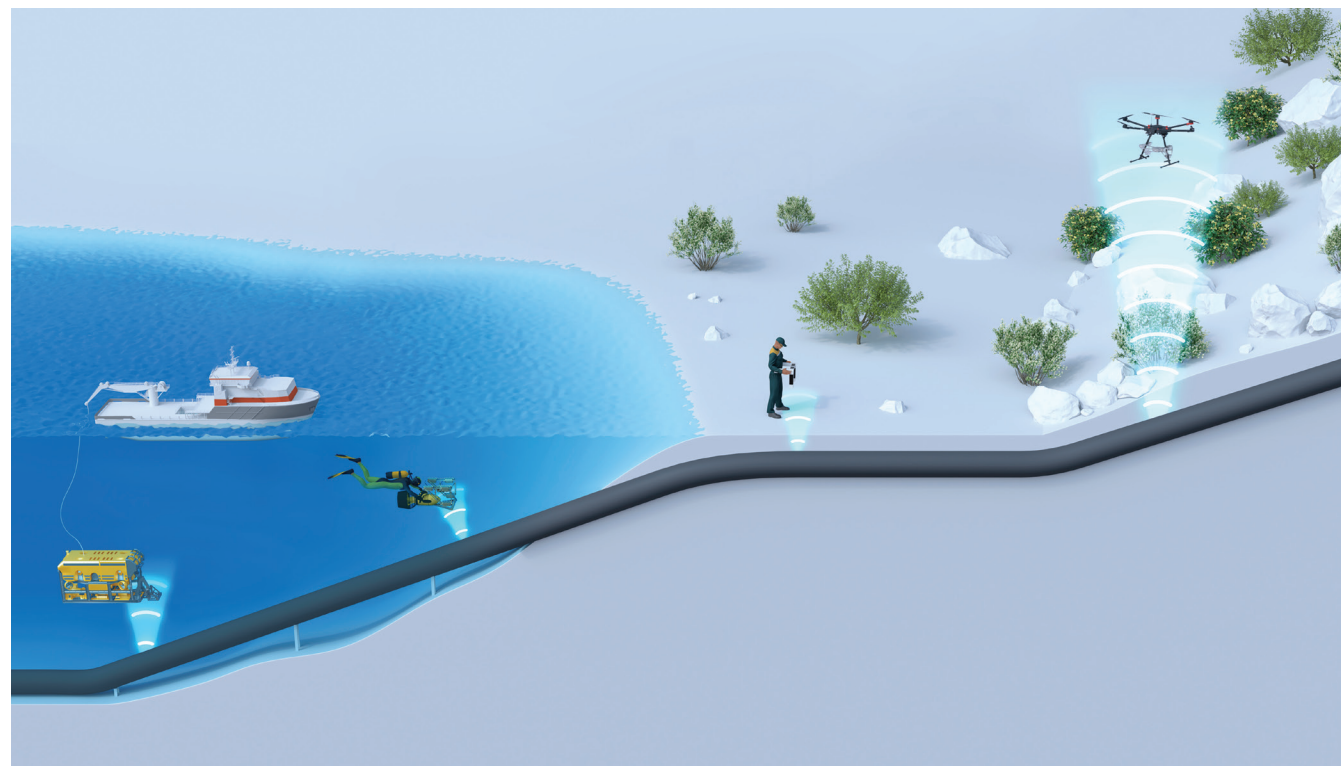


Рис. 5



Рис. 2

диагностики – обнаружить и проанализировать зоны концентрации механических напряжений, чтобы предупредить переход объекта контроля в аварийное состояние. МТМ-Г позволяет добиться этого путем локализации и определения характеристик аномальных участков с учетом действующих механических напряжений.

Магнитометры «КОРД», созданные специально для МТМ-Г, сканируют естественное магнитное поле трубопровода по всей его длине, без контакта и вмешательства в режимы эксплуатации. Изменение механических напряжений в стенке трубы вызовет изменения в магнитном поле – аномалию – и на участках напряженно-деформированного состояния, и в зонах одиночных дефектов. Каждая обнаруженная аномалия анализируется с помощью алгоритмов обработки первичных («сырых») данных МТМ-Г. В результате для аномалий проводится расчет основных параметров безопасности (SCF, Psafe, ERF, Tsafe, RLA) согласно международной НТД (ASME B31.G, API RP 579, DNV RP-F105), где каждая аномалия ранжируется по степени опасности, характеризуется видами действующих напряжений (кольцевые, продольные) и типом особенностей (трещиноподобные, потеря металла, и т.д.). Результаты МТМ-Г позволяют операторам трубопроводов планировать техническое обслуживание, включая, но не ограничиваясь, определением предельных нагрузок и допустимых давлений, безопасные сроки эксплуатации для планирования ремонтов наиболее потенциально опасных участков с доказанной на практике высокой достоверностью.

Использование ТНПА рабочего/инспекционного (рис. 1) класса в качестве носителя МТМ-Г магнитометров по-

зволяет обследовать подводный трубопровод со средней скоростью 0.5 узла, что соответствует Спецификации МТМ-Г (равномерное движение магнитометра над осью трубопровода, стабильный крен/тангаж). Кроме того, навесное оборудование ТНПА (трассоискатель, сонары, видеокамеры) дает возможность работать как на открытых, так и заглубленных морских трубопроводах.

МТМ-Г ОБСЛЕДОВАНИЕ НА МЕЛКОВОДЬЕ И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ

Зачастую трасса трубопровода пролегает через прибрежную зону с почти нулевой глубиной и выходом на берег (акватория Каспийского и Аравийского морей, Персидского залива). До недавнего времени обследовать данные участки (при условии отсутствия возможности провести ВТД) было невозможно, что сказывалось на их аварийности.

Для диагностики трубопроводов на мелководье при достаточной видимости носителем магнитометра «КОРД» может выступать водолаз (рис. 2). Наличие проводной подводной связи с судном/лодкой на поверхности воды обеспечивает дополнительный контроль за соблюдением требований Спецификации во время сканирования. А применение длиннобазисных гидроакустических систем подводного геопозиционирования (LBL) позволяет с высокой точностью определить географические координаты выявляемых аномалий и особенностей трубопровода. МТМ-Г обследование с помощью водолазов в акватории Персидского залива на объектах компании ADNOC (ОАЭ) и прибрежной зоне Суэцкого залива на объектах компании SORC (Египет) доказало не

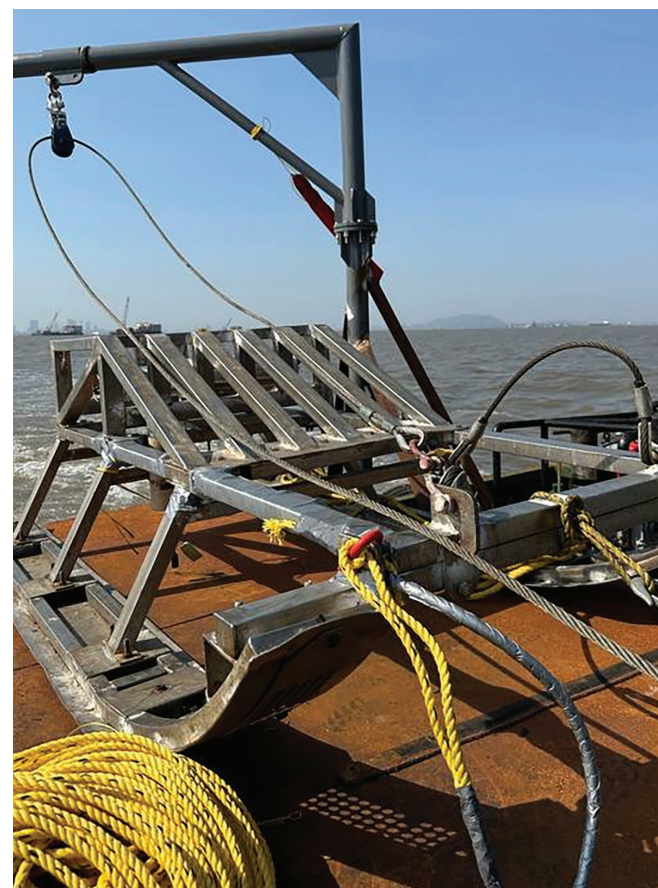


Рис. 3



Рис. 4



Рис. 6

только саму возможность, но и практическую и техническую эффективность данного метода диагностики.

В 2021–2024 годах специалистами ООО «АКОРД-Технолоджи» было проведено МТМ-Г обследование более 250 км магистральных трубопроводов в акватории Аравийского моря на глубинах менее 20 м и в прибрежной зоне. В связи с отсутствием видимости и сильными течениями работа водолазов в данной зоне невозможна, а применение ТНПА ограничено требованиями безопасности для DP-2 судна. Для выполнения обследования в таких специфических условиях был разработан буксируемый подводный носитель, чья конструкция и масса в совокупности с системами подводного геопозиционирования и поиска трассы трубы позволили решить проблему технического диагностирования этих участков (рис.3).

Кроме того, расположенные в прибрежных, пойменных зонах, и пролегающие по дну мелководных рек трубопроводы могут быть обследованы магнитометром «КОРД» в стандартном сухопутном исполнении (рис. 4).

Таким образом, комбинирование магнитометров «КОРД» глубоководного, мелководного и стандартного сухопутного исполнения позволяет проводить сплошное обследование магистральных трубопроводов от места добычи на больших глубинах до НПЗ, перекрывая все зоны прокладки – глубоководную, мелководную, прибрежную и сухопутную, обеспечивая контроль трубопровода по всей длине без риска пропустить потенциально опасные напряженные участки (рис. 5).



Рис. 7

РЕЗЮМЕ

Всего же с 2020 года с помощью МТМ-Г были обследованы более чем 1100км подводных и 300км сухопутных трубопроводов компаний Petronas (Малайзия), ONGC (Индия), Aramco (Саудовская Аравия), ADNOC (ОАЭ) и других.

Регулярная верификация данных МТМ-Г путем шурфования на наземных участках, сравнение с результатами предыдущих инспекций, в том числе в части определения уровня потери металла, сравнение результатов прогнозирования с классическими средствами контроля показывают высокую точность и эффективность результатов МТМ-Г обследований. Аудит технических отчетов проводится DNV, IRMS, а также другими международными экспертными организациями. Необходимо отметить, что в ряде проектов по результатам МТМ-Г проведены ремонтно-восстановительные работы трубопроводов, в том числе морских. Так, например, в результате обследования 24-дюймового нефтепровода компании SORC (Египет) были выявлены 5 аномалий общей длиной 22 метра, в том числе 2 критических, охарактеризованные в отчете как «трещиноподобный дефект», «локальная и общая потеря металла», «изменение геометрии» и «общее НДС». В результате шурфования и верификации методами НК (рис. 6,7). были подтверждены опасные зоны концентрации напряжений, обусловленные продольными трещиноподобными дефектами с выходом на монтажное сварное соединение и дефектами потери металла на внутренней стенке трубы. При этом совокупность дефектов подтверждена на участке холодного изгиба, выходящего за рамки допустимого в условиях мелководья и отливных/приливных течений. Дефектный участок трубопровода был заменен новым.

Возможности метода, включающие локализацию действительно опасных участков, расчет уровня действующих механических напряжений и необходимых параметров безопасной эксплуатации, а также комбинированное применение подводных и сухопутных магнитометров, позволяют формировать полное представление о работоспособности трубопровода. Опыт применения и непосредственного взаимодействия с операторами трубопроводов демонстрирует, что МТМ-Г существенно расширяет возможности оценки технического состояния трубопроводов не заменяя, а дополняя существующие подходы к оценке их целостности.