

Магнитные дефектоскопы ИНТРОКОР для диагностического обследования днищ и 1-го пояса стенок стальных вертикальных резервуаров

Д.В. Сухоруков, Д.А. Слесарев, А.А. Абакумов (ООО «ИНТРОН ПЛЮС»)

Согласно действующим нормативным документам [1, 2], регламентирующим техническое диагностирование стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти, нефтепродуктов, воды, химически активных жидкостей и других веществ, основой для проведения экспертизы промышленной безопасности является диагностическое обследование всех элементов конструкции вертикальных стальных резервуаров (РВС), в том числе днища и стенки. На базе совокупности полученных диагностических данных проводится оценка технического состояния (ОТС) с расчетом срока эксплуатации РВС, вырабатываются рекомендации о необходимости проведения ремонта или исключения резервуара из эксплуатации, и оформляется заключение экспертизы промышленной безопасности. При этом от полноты и качества информации, получаемой при обследовании, напрямую зависит безопасность эксплуатации резервуара.

Требования к проведению диагностического обследования днищ и стенок РВС

Днище и первый пояс стенки относятся к наиболее ответственным элементам РВС, на которые воздействуют следующие неблагоприятные эксплуатационные и технологические факторы:

- коррозия внутренней и внешней поверхности, обусловленная воздействием агрессивной среды хранимых продуктов и внешних факторов, в том числе осадков, уровня влажности воздуха и т.п.;
- качество изготовления РВС, в том числе фундамента и основания;
- эффективность электрохимической защиты (ЭХЗ);
- изменение геометрической формы резервуара, вызванное просадками.

По действующим правилам для контроля состояния металла днища и стенки РВС рекомендовано использование следующих методов [3]:

- при частичной диагностике – акустико-эмиссионное обследование, визуальный инструментальный контроль (ВИК), ультразвуковой контроль (УЗК);
- при полной диагностике – диагностическое обследование с применением различных методов неразрушающего контроля (НК), в том числе ВИК, УЗК, магнитный контроль (МК) и т.п.

Состояние защитного изоляционного покрытия (ЗИП), применяемого для предотвращения коррозии металла днища и стенки РВС, также подлежит оценке при проведении диагностических работ.

Анализ методов диагностического обследования днищ и стенок РВС

Согласно традиционно принятым в России методам диагностического обследования днищ РВС,

наибольшее распространение получил УЗК. Однако физические особенности УЗК не позволяют осуществить 100%-ный контроль днища. Кроме того, применение УЗК предусматривает обязательный демонтаж защитного изоляционного покрытия независимо от его состояния. Поэтому в настоящее время применение УЗК предполагает не сплошное 100%-ное обследование, а контроль в отдельных точках. При этом велика вероятность пропуска дефектов, особенно коррозионных повреждений днища, расположенных со стороны гидрофобного слоя.

Опыт диагностического обследования днищ резервуаров показывает, что не менее 30% РВС подвержены возникновению указанных дефектов, которые при традиционном подходе к осуществлению контроля не могут быть выявлены. Результаты сравнительного анализа возможностей различных технологий, используемых при диагностическом обследовании днищ РВС, представлены в табл. 1.

Сравнение технологий НК днища и стенки РВС

Свойство	АЭ	ВИК	УЗК	МК
Контроль без демонтажа ЗИП	+	-	-	+
Контроль 100% площади днища и стенки	-	+	-	+
Возможность контроля при полной диагностике	-	+	+	+
Возможность контроля при частичной диагностике	+	Только стенка	Только стенка	Только стенка
Возможность выявления как наружных, так и внутренних дефектов	+	-	+	+
Определение местоположения дефектов (внешний/внутренний)	-	-	+	+
Определение координаты дефектов	-	+	+	+
Оценка размеров дефектов	-	-	+	+
Определение остаточной толщины металла днища и стенки	-	-	+	+
Оценка толщины ЗИП	-	-	-	+



Рис. 1. Дефектоскоп ИНТРОКОР М150

В ООО «ИНТРОН ПЛЮС» на основе опыта разработки и применения оборудования и программного обеспечения магнитной внутритрубной и наружной [4] диагностики магистральных трубопроводов, а также обследования стальных троек и канатов, разработана технология МК днища и стенок РВС. В ее основе лежат следующие составляющие:

- оборудование МК – дефектоскоп ИНТРОКОР М150 (рис. 1);
- программное обеспечение WINTROSCAN для интерпретации диагностических данных;
- методика оценки срока безопасной эксплуатации РВС с применением конечно-элементной модели РВС, позволяющая прогнозировать ресурс резервуара с учетом дефектов, обнаруженных при диагностике.

Основные достоинства разработанной технологии по сравнению с традиционно используемыми методами контроля:

- контроль без демонтажа ЗИП;
- высокая производительность и разрешающая способность контроля, позволяющая осуществлять 100%-ный контроль без пропусков и «мертвых зон»;
- оценка размеров дефектов и остаточной толщины стенки, а также толщины ЗИП;
- определение местоположения дефектов и нанесение их на «карту» днища и стенки РВС;
- осуществление контроля в реальном времени;

- определение местоположения нарушений (внешний/внутренний).

Применение технологии магнитного контроля днищ и стенок (рис. 2) РВС позволяет обеспечить безопасность их эксплуатации и повысить достоверность прогноза остаточного ресурса.

Оборудование магнитной диагностики днищ и стенок РВС

Принцип действия магнитного дефектоскопа ИНТРОКОР М150 основан на регистрации магнитных полей рассеяния от дефектов (MFL-метод) при намагничивании днища или стенки РВС с помощью намагничивающего устройства (НУ). Считывание магнитного рельефа осуществляется путем сканирования магнитного поля с помощью сканирующего многоэлементного преобразователя (СМП).

Дефектоскоп осуществляет цифровую обработку показаний датчиков, восстановление компьютерного изображения поля рассеяния от дефектов. В полевых условиях информация о выявленных дефектах записывается в портативное видеоконтрольное устройство сбора данных Datalogger или персональный компьютер. Предварительная оценка объекта контроля производится непосредственно в процессе диагностирования. Дальнейшая обработка магнитограмм и подготовка отчета по диагностике осуществляются оператором с помощью компьютерных методов. По изображению магнитных отпечатков определяются форма дефектов, их ориентация, размеры и вза-

имное расположение, а также остаточная толщина днища и стенки. Права на используемое программное обеспечение (ПО) подтверждаются свидетельством о регистрации в РФ.

Дефектоскоп содержит сканер, конструктивные элементы для установки, перемещения и съема дефектоскопа, а также видеоконтрольное устройство сбора данных Datalogger либо мобильный персональный компьютер. При этом устройство Datalogger обеспечивает применение дефектоскопа во взрывоопасных средах при температуре до -20°C .

Дефектоскопом выявляются дефекты типа нарушения сплошности металла, в том числе коррозионные и усталостные трещины, каверны, язвы и т.п., по всей толщине стенки объекта контроля.

Основные характеристики магнитного дефектоскопа ИНТРОКОР М150

Толщина стенки, мм	4...16
Максимальная толщина (T) покрытия, мм	6
Порог чувствительности	0,2T
Абсолютная погрешность определения положения дефектов от точки отсчета дистанции, мм	Не более 10
Максимальная скорость контроля, м/с	1
Исполнение	IP54
Масса, кг	20



Рис. 2. Магнитный контроль днищ (а) и стенок (б) вертикальных стальных резервуаров

В комплект поставки магнитного дефектоскопа входят:

- сканер;
- Datalogger или мобильный персональный компьютер;
- программное обеспечение для сбора и интерпретации данных;
- упаковочный ящик с комплектом эксплуатационной оснастки;
- сопроводительная документация, включающая руководство по эксплуатации и сертификат калибровки.

На базе ООО «ИНТРОН ПЛЮС» предусмотрено обучение специалистов работе с дефектоскопом, осуществляемое с применением авторских методик и приглашением ведущих специалистов по МК.

Программное обеспечение интерпретации диагностических данных

Специально разработанное программное обеспечение Wintrocор позволяет производить обработку и анализ данных, полученных в результате сканирования, с целью подготовки заключения о состоянии как конкретного листа, так и объекта обследования в целом. Вся информация сохраняется в специальной базе данных. Программное обеспечение Wintrocор позволяет анализировать дефектограммы отдельных проездов, объединять отдельные проезды с учетом их перекрытия для получения дефектограммы всего листа, оценивать геометрические параметры дефектов. Реализована функция автоматического поиска дефектных

зон, информация о которых заносится в базу данных. Программа обеспечивает генерацию заключения в различных форматах для просмотра его как в текстовом редакторе, так и с помощью интернет-обозревателя. Наряду с заключением может быть создана также графическая схема листа или днища с указанием расположения дефектных зон. Таким образом, обеспечен полный цикл обработки и документирования результатов контроля.

Методика оценки срока безопасной эксплуатации РВС

Оценка срока безопасной эксплуатации является важнейшим элементом диагностического обследования РВС [6]. Компания «ИНТРОН ПЛЮС» использует методику расчета срока безопасной эксплуатации резервуара, предусматривающую следующее:

- определение напряженно-деформированного состояния конструкций резервуара с учетом его фактической геометрии (вмятины, просадки, отклонения образующих стенки от вертикали, угловатости и др.);
- определение локальной прочности в зоне дефектов (коррозионных, механических, технологических);
- моделирование коррозионного и циклического роста дефектов;
- расчет срока эксплуатации конструкции с каждым обнаруженным дефектом и срока эксплуатации резервуара в целом;

- определение сроков следующих обследований;
- при необходимости выдаются рекомендации по ремонту.

Сравнительный анализ магнитного дефектоскопа ИНТРОКОР М 150 и альтернативных средств магнитного контроля РВС

В настоящее время в практике магнитного и электромагнитного контроля РВС применяются средства диагностирования различных производителей. Наиболее известны магнитные дефектоскопы фирм Silverwing, MFE, Rosen, Автогаз (СКМ), ИнтросКо (МИ-2Х), вихревые дефектоскопы компаний TesTex, Corrocont (TST-27), а также комбинированные дефектоскопы MAC и Kontrol Technik.

Сравнительная оценка указанных устройств приведена в табл. 2. Анализ показывает, что большинство представленного на рынке оборудования обладает сходными техническими характеристиками. При этом на первый план выходят потребительские качества, в том числе удобство эксплуатации, авторская поддержка производителя, организация ремонта и технического обслуживания, а также стоимость оборудования и услуг. В этом отношении отечественное оборудование, в первую очередь магнитный дефектоскоп ИНТРОКОР М150 ООО «ИНТРОН ПЛЮС», обладает преимуществом перед зарубежными образцами. Это определяется следующими факторами:

Сравнение технических характеристик сканеров для контроля стальных листов

Технические характеристики	Магнитные дефектоскопы Silverwing, MFE, Rosen, СКМ	Комбинированные дефектоскопы MAC, Kontrol Technik	Вихревые дефектоскопы Tes Tex, TST-27 (Corrocont)	ИНТРОКОР
Толщина контролируемых листов, мм	4...15(20)	4...35	19 (32)	4...16
Максимальная толщина ЗИП, мм	6	10	5	6
Возможность оценки толщины ЗИП	Нет	Нет	Нет	Есть
Возможность оценки размеров дефектов	Есть	Есть	Есть	Есть
Погрешность определения координат дефектов, мм	± 20	-	-	±10
Максимальная скорость контроля, м/с	0,5	0,5	0,1	1
Максимальная ширина зоны контроля, мм	450	380	330	150
Масса, кг	До 47	120	До 20	20
Источник питания	А	Сеть	А/сеть	А
Время непрерывной работы, ч	До 10	б/о	10	4
Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	5000	5000	4000	1900

- доступной стоимостью оборудования и услуг;
- оперативностью при осуществлении планового и срочного технического обслуживания;
- авторской поддержкой всего спектра оборудования и программного обеспечения;
- обучением специалистов с применением авторских методик;
- предоставлением на период проведения ремонтных и профилактических работ «подменного» оборудования, в том числе с привлечением сотрудников организации-производителя.

Особенности и результаты применения технологии магнитного контроля днищ и стенки РВС

Особенностью сегодняшнего этапа развития диагностических технологий является то, что на предприятиях, эксплуатирующих резервуарные парки, в том числе на нефте- и газодобывающих компаниях, предприятиях по эксплуатации магистрального трубопроводного транспорта, на нефтехимических предприятиях и т.п., приходит понимание необходимости организации комплексного подхода к диагностическому обследованию РВС. При этом во главу угла согласно документу [3] ставится задача получения полного пакета диагностических данных, целью которой является:

- установление возможности безопасной эксплуатации;
- определение остаточного ресурса безопасной эксплуатации в случае обнаружения дефектов или после исчерпания расчетного срока службы;
- разработка прогноза о возможности и условиях эксплуатации сверх расчетного срока службы, а также после аварии или повреждения отдельных конструктивных элементов.

Контроль днища и стенок РВС при осуществлении комплекса диагностических мероприятий уделяется повышенное внимание. Для обеспечения качества диагностических работ разработаны отраслевые нормативные документы, регламентирующие проведение обследования днища, в том числе с применением магнитных методов и приборов. Разработана внутриотраслевая ме-

тодика ОАО «АК «Транснефть» [7], в соответствии с которой контроль качества РВС выполняется с применением ВИК; МК; УЗК; радиографического контроля; контроля герметичности. Алгоритм контроля предполагает выполнение операций в соответствии с табл. 3.

Конструкция и технические возможности магнитного дефектоско-

па ИНТРОКОР М150 позволяют использовать его для контроля как днища, так и стенок. Опыт применения при контроле днищ и стенок РВС показал, что при выполнении диагностических работ выявляются дефекты, вероятность обнаружения которых при использовании других методов, очень мала. В частности, на РВС выявлены питтин-

**Таблица 3
Порядок проведения контроля РВС**

Виды работ	Итоговый документ
Разработка ТЗ на проведение работ по технической диагностике	ТЗ
Разработка Программы диагностики и технологических карт контроля	Программа диагностики, технологические карты
Подготовка резервуара к контролю	Акт готовности резервуара к проведению диагностики
Контроль ЗИП по внешнему виду	Заключение. В случае необходимости проведения капитального ремонта ЗИП: - составить акт проведения контроля качества внутреннего антикоррозионного покрытия РВС; - контроль ЗИП по толщине, диэлектрической сплошности, адгезии и отслоению не проводить
Подготовка поверхности к проведению НК. Выполняется по результатам контроля ЗИП по внешнему виду	-
Разметка конструкционных элементов РВС	-
Контроль толщины ЗИП	Заключение
Контроль диэлектрической сплошности ЗИП	Заключение
УЗК отслоения ЗИП	Заключение
Контроль адгезии ЗИП	Заключение
Подготовка акта проведения контроля качества ЗИП	Акт
НК металлоконструкций РВС визуальным методом	Заключение
Подготовка поверхности металлоконструкций РВС к проведению контроля герметичности	-
НК днища РВС магнитным методом	Заключение
Дополнительный контроль адгезии ЗИП в случае обнаружения методом МК коррозии металла под покрытием	Заключение
Подготовка поверхностей внутренних металлоконструкций к проведению УЗК по результатам контроля внешнего вида ЗИП	-
НК металлоконструкций РВС УЗ-методом	Заключение
НК металлоконструкций РВС рентгенографическим методом	Заключение
НК металлоконструкций РВС методом течеискания	Заключение
Подготовка акта контроля качества металлоконструкций резервуара	Акт
Подготовка технического отчета по результатам контроля	Технический отчет
Ремонт ЗИП РВС	-

говые дефекты днища, расположенные со стороны гидрофобного слоя, а также коррозионные дефекты, вызванные воздействием подтоварной воды.

Выявление дефектов сварных соединений вблизи утогошного шва также является преимуществом магнитных дефектоскопов ИНТРОКОР М150.

Таким образом, создана и внедрена в производство технология магнитного контроля днища и стенок РВС, позволяющая исключить пропуск дефектов, допускаемых при использовании традиционных методов контроля.

Разработано, апробировано и освоено производство магнитных дефектоскопов ИНТРОКОР М 150 и программного обеспечения Wintrocор мирового уровня, обладающего уникальными техническими характеристиками и конку-

рентными преимуществами перед зарубежными и отечественными образцами.

Внедрена методика расчета ресурса резервуаров, использующая конечно-элементную модель РВС и позволяющая прогнозировать ресурс резервуара с учетом любых дефектов, обнаруженных при диагностике.

Список литературы

1. РД 08-95-95. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Утверждено Госгортехнадзором России постановлением № 38 от 25 июня 1995 г.

2. РД 03-484-02. Положение о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах». Утверждено постановлением Госгортехнадзора России № 43 от 09.07.02.

3. Резервуары вертикальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности (Методические указания). М.: Российская ассоциация экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности «Росэкспертиза», «Научно-промышленный союз «РИСКОМ», НПК «Изотермик», 2009.

4. ВРД 39-1.11-027-2001. Инструкция по магнитному контролю линейной части магистральных газонефтепродуктопроводов. М.: Госгортехнадзор России, 2001.

5. Свид. о регистрации № 2008612918 «Программа автоматического распознавания данных дефектоскопов МДСкан»//Д.А. Слесарев, А.В. Семенов и др. Опубл. 17.06.2010.

6. Могильнер Л.Ю., Семин Е.Е. Оценка технического состояния вертикальных стальных резервуаров»//В мире неразрушающего контроля. 2009. №1.

7. РД-77.060.00-КТН-221-09. Методика контроля анткоррозионного покрытия, металла и сварных швов днища и внутренних металлоконструкций резервуара. М.: ОАО «Транснефть», 2009.