

# ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ ДНИЩ И СТЕНОК СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СКАНИРУЮЩИХ МАГНИТНЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Д.В. СУХОРУКОВ – ООО «ИНТРОН ПЛЮС»

Д.А. СЛЕСАРЕВ – к.т.н., ООО «ИНТРОН ПЛЮС»

А.А. АБАКУМОВ (мл.) – к.т.н., ООО «ИНТРОН ПЛЮС»

М.Ю. ПОЛЯХОВ – к.т.н., Московский энергетический институт

*В данной статье описана технология диагностического обследования днищ и стенок стальных вертикальных резервуаров с применением сканеров магнитного поля. Рассмотрены принципы работы оборудования, особенности программного обеспечения и результаты практического применения технологии. Указаны особенности и преимущества использования разработанной технологии по сравнению с традиционно используемыми методами контроля.*

Согласно действующим нормативным документам [1, 2], регламентирующим техническое диагностирование стальных вертикальных резервуаров, основой ОТС при проведении экспертизы промышленной безопасности является диагностическое обследование всех элементов конструкции РВС, в том числе днища и стенки. Аналогичный подход применяется и в отношении РВС для хранения нефти, нефтепродуктов и других веществ, например воды, химически активных жидкостей, в том числе кислот, и т.п. На основе совокупности полученных диагностических данных вырабатываются рекомендации об условиях дальнейшей безопасной эксплуатации РВС с вероятным остаточным ресурсом, сроках и уровнях последующих обследований и необходимости проведения ремонта или исключения из эксплуатации. При этом от полноты и качества информации, получаемой при обследовании, зависит, с одной стороны, безопасность при эксплуатации РВС, а с другой, стоимость обеспечения приемлемого уровня безопасности, которая определяется объемом ремонтных и восстановительных работ, предписываемых к проведению по результатам технического диагностирования.

Днище и первый пояс стенки относятся к наиболее значимым элементам конструкции РВС, связанных с влиянием следующих неблагоприятных эксплуатационных и технологических факторов:

- коррозией внутренней и внешней поверхности, обусловленной, соответственно, агрессивной средой хранимых продуктов и воздействием внешних факторов, в том числе перепадов температуры, осадков, уровня влажности воздуха и т.п.;
- качеством изготовления РВС, в том числе фундамента и основания;
- эффективностью ЭХЗ;
- механическими воздействиями, вызванными, например, влиянием геологических и геофизических факторов, формирующих участки повышенных локальных напряжений металла.

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

- при частичной диагностике – акустическое обследование, ВИК, УЗК;
- при полной диагностике – диагностическое обследование с применением различных методов НК, в том числе ВИК, УЗК, МК и т.п.

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

Согласно традиционно принятым в России методам диагностического обследования днищ РВС наибольшее распространение получил УЗК. Однако физические особенности УЗК не позволяют осуществить 100% контроль днища. Кроме того применение УЗК предусматри-

вает обязательный демонтаж защитного изоляционного покрытия независимо от его состояния. Поэтому в настоящее время применение УЗК предполагает не сплошное 100%-ное обследование, а контроль в дискретных точках. При этом велика вероятность пропуска дефектов, в особенности коррозионных поврежденных 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 таблице 1.

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 тросов и канатов, разработана технология магнитного контроля днища и стенок РВС. В ее основе лежат следующие составляющие:

1. Оборудование магнитного контроля – дефектоскоп ИНТРОКОР М150.
2. Программное обеспечение Wintrocop для интерпретации диагностических данных.

#### Принятые сокращения:

ОТС – оценка технического состояния  
РВС – резервуар вертикальный стальной  
НК – неразрушающий контроль

УЗК – ультразвуковой контроль  
МК – магнитный контроль  
РГ – радиографический контроль  
КГ – контроль герметичности

ЭХЗ – электрохимическая защита  
АЭ – акустическая эмиссия  
ЗИП – защитное изоляционное покрытие  
ВИК – визуальный инструментальный контроль

Таблица 1

№	Свойство	Сравнение технологий НК днища и стенки РВС			
		АЗ	ВИК	УЗК	МК
1	Контроль без демонтажа ЗИП	+	-	-	+
2	Контроль 100% площади днища и стенки	-	+	-	+
3	Возможность контроля при полной диагностике	-	+	+	+
4	Возможность контроля при частичной диагностике	+	только стенка	только стенка	только стенка
5	Возможность выявления как наружных, так и внутренних дефектов	+	-	+	+
6	Определение местоположения дефектов (внешний/внутренний)	-	-	+	+
7	Определение координаты дефектов	-	+	+	+
8	Оценка размеров дефектов	-	-	+	+
9	Определение остаточной толщины металла днища и стенки	-	-	+	+
10	Оценка толщины ЗИП	-	-	-	+

Таблица 2

## Основные характеристики магнитного дефектоскопа ИНТРОКОР М150

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Толщина стенки (Т), мм	от 4 до 16
2	Максимальная толщина покрытия, мм	до 6
3	Порог чувствительности	0,3Т
4	Абсолютная погрешность определения положения дефектов от точки отсчета дистанции, мм	не более 20
5	Максимальная скорость перемещения сканера, м/с	1
6	Исполнение	IP54
7	Масса, кг	12

3. Программный комплекс TankResouce, реализующий методику оценки срока безопасной эксплуатации РВС с применением конечноэлементной модели РВС, позволяющей прогнозировать ресурс резервуара с учетом дефектов, обнаруженных при диагностике.

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

1. Контроль без демонтажа ЗИП
2. Высокая производительность и разрешающая способность контроля, позволяющая осуществлять 100% контроль без пропусков и «мертвых зон».
3. Оценка размеров дефектов и остаточной толщины стенки, а также толщины ЗИП.
4. Определение местоположения дефектов и нанесение их на «карту» днища и стенки РВС
5. Осуществление контроля в реальном времени
6. Определение местоположения нарушений (внешний/внутренний), остаточной толщины стенки металла, а также толщины ЗИП

Применение технологии магнитного контроля днищ и стенок РВС позволит обеспечить безопасность их эксплуатации и повысить достоверность прогноза остаточного ресурса.

### ОБОРУДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДНИЩ И СТЕНОК РВС

Принцип действия магнитного дефектоскопа ИНТРОКОР М150 приведен на рис. 1. Он 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

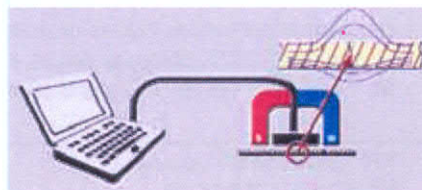


Рис. 1

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 осуществляется оператором с помощью компьютерных методов. По изображению магнитных отпечатков определяется форма дефектов, их ориентация, размеры и взаимное расположение, а также остаточная толщина днища и стенки.

Конструкция дефектоскопа содержит сканер, а также конструктивные элементы для установки, перемещения и съема дефектоскопа, и видеоконтрольное устройство сбора данных Datalogger либо мобильный персональный компьютер. При этом Datalogger обеспечивает применение дефектоскопа во взрывоопасных средах при температуре до  $-20^{\circ}\text{C}$ .

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. Технические характеристики дефектоскопа приведены в таблице 2.

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.

Для обучения на базе ООО «ИНТРОН ПЛЮС» предусмотрена подготовка специалистов работе с дефектоскопом, осуществляемая с применением авторских методик и приглашением ведущих специалистов по магнитному контролю.

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Специально разработанное программное обеспечение Wintrosog 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 специальную базу данных. Программное обеспечение Wintrosog 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.

Примеры обнаружения участков потерь металла вблизи сварного шва и сравнения дефектного и бездефектного участков днища РВС приведены на рис. 2.

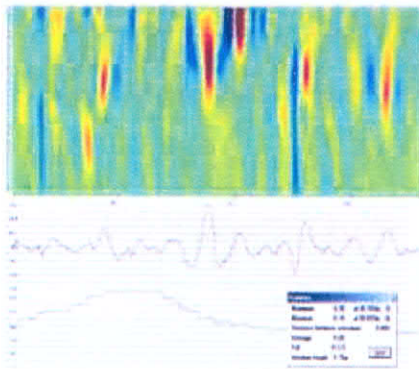


Рис. 2

#### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СРОКА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РВС

Оценка срока безопасной эксплуатации является важнейшим элементом диагностического обследования РВС. Контроль и мониторинг технического состояния резервуаров/сосудов с целью определения их остаточного ресурса [6] являются важнейшими факторами безопасности.

Компанией ИНТРОН ПЛЮС разработана и апробирована методика диагностики технического состояния резервуара/сосуда, а также методика и программный комплекс TankResouce прогнозирования их остаточного ресурса. Методика обладает научной новизной и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими нормативными документами.

Методика учитывает и использует:

- современные модели коррозионного износа, усталости и растрескивания;
- усовершенствованные модели, описывающие рост дефектов при циклических и длительно действующих постоянных нагрузках;
- модели коррозионного разрушения, основанные как на критериях остаточной прочности, так и многопараметрической механики разрушения;
- универсальные модели, позволяющие описывать процесс коррозионного разрушения для различных коррозионно-активных сред, находящихся как внутри, так и снаружи резервуара/сосуда;
- разработанные модели коррозионного разрушения, в которых скорость локальной коррозии не является постоянной величиной, а возрастает в процессе развития дефектов и накопления повреждений.

Лабораторией НК ИНТРОН ПЛЮС выполняется оценка остаточного ресурса по разработанной методике с помощью программного комплекса TankResouce. Программные модули комплекса позволяют определить:

- остаточный срок службы до очередного ремонта или списания;
- вид и объем ремонтных работ, исходя из технического состояния;
- допустимые пределы эксплуатационной нагрузки, соблюдение которых обеспечивает безаварийную работу резервуара/сосуда.

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ДЕФЕКТΟΣКОПА ИНТРОКОР М 150 И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СРЕДСТВ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ РВС

В настоящее время в практике магнитного и электромагнитного контроля РВС известно применение средств диагностики различных производителей. Наиболее известны магнитные дефектоскопы фирм Silverwing, MFE, Rosen, Автогаз (СКМ), МИ-2Х (ИнтросКо), вихретоковые дефектоскопы компаний TesTex, Corrocont (TST-

27), а также комбинированные дефектоскопы MAC и Kontrol Technik.

Сравнительная оценка указанных устройств приведена в таблице 3. Анализ сравнения 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 сервисных услуг. В этом отношении отечественное оборудование, в первую очередь магнитный дефектоскоп ИНТРОКОР М150 компании ООО «ИНТРОН ПЛЮС», обладает преимуществом перед зарубежными образцами. Это определяется следующими факторами:

- 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

Особенность сегодняшнего этапа развития диагностических технологий является то, что на предприятиях, эксплуатирующих резервуарные парки, в том числе 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 ставится задача получения полного пакета диагностических данных с целью [3]:

- установления возможности безопасной эксплуатации;
- определения остаточного ресурса безопасной эксплуатации в случае об-

Таблица 3

Сравнение технических характеристик сканеров для контроля стальных листов

Технические характеристики	Магнитные дефектоскопы: Silverwing, MFE, Rosen, СКМ	Комбинир-е дефектоскопы: MAC, Kontrol Technik	Вихретоковые 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	–	–	±0,1
Скорость контроля, м/с	0,5	0,5	0,1	1
Макс. ширина зоны контроля, мм	450	380	330	150
Масса, кг	до 47	120	до 20	12
Источник питания	А	сеть	А/сеть	А
Время непрерывной работы, ч	до 10	6/0	10	4
Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	5000	5000	4000	1900

наружения дефектов или после истечения расчетного срока службы;

- разработки прогноза возможности и условий эксплуатации сверх расчетного срока службы, а также после аварии или повреждения отдельных конструктивных элементов.

Контролю днища и стенок РВС при осуществлении комплекса диагностических мероприятий уделяется повышенное внимание. Для обеспечения качества диагностических работ разработаны отраслевые нормативные документы, регламентирующие осуществление обследования

днища, в том числе с применением магнитных методов и приборов. Разработана внутриотраслевая методика ОАО «АК «Транснефть» [7], в соответствии с которой контроль качества РВС выполняется с применением ВИК, МК; УЗК; РГ; КГ. Алгоритм контроля предполагает выполнение операций в соответствии с таблицей 4.

Конструкция и технические возможности магнитного дефектоскопа ИНТРОКОР М150 позволяют использовать его как для контроля днища, так и стенок. Опыт применения при контроле днищ и стенок РВС показал, что при выполне-

нии диагностических работ выявляются дефекты, вероятность обнаружения которых при использовании других методов, очень мала. В частности, на РВС выявлены питтинговые дефекты днища (рис. 3), расположенные со стороны гидрофобного слоя, а также коррозионные дефекты, вызванные воздействием подтоварной воды (рис. 4).

Выявление дефектов сварных соединений и вблизи уторного шва, как показано на рис. 5 и 6, также является преимуществом магнитных дефектоскопов ИНТРОКОР М150.



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

Таблица 4

Порядок проведения контроля РВС

№	Виды работ	Итоговый документ
1	Разработка ТЗ на проведение работ по технической диагностике	ТЗ
2	Разработка Программы диагностики и технологических карт контроля	Программа диагностики, технологические карты
3	Подготовка резервуара к контролю	Акт готовности резервуара к проведению диагностики
4	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
5	Подготовка поверхности к проведению НК. Выполняется по результатам контроля ЗИП по внешнему виду	–
6	Разметка конструктивных элементов РВС	–
7	Контроль толщины ЗИП	заключение
8	Контроль диэлектрической сплошности ЗИП	заключение
9	УЗК отслоения ЗИП	заключение

№	Виды работ	Итоговый документ
10	Контроль адгезии ЗИП	заключение
11	Подготовка акта проведения контроля качества ЗИП	акт
12	НК металлоконструкций РВС визуальным методом	заключение
13	Подготовка поверхности металлоконструкций РВС к проведению контроля герметичности	–
14	НК днища РВС магнитным методом	заключение
15	Дополнительный контроль адгезии ЗИП в случае обнаружения методом МК коррозии металла под покрытием	заключение
16	Подготовка поверхностей внутренних металлоконструкций к проведению УЗК по результатам контроля внешнего вида ЗИП	–
17	НК металлоконструкций РВС УЗ-методом	заключение
18	НК металлоконструкций РВС рентгенографическим методом	заключение
19	НК металлоконструкций РВС методом течеискания	заключение
20	Подготовка акта контроля качества металлоконструкций резервуара	акт
21	Подготовка технического отчета по результатам контроля	технический отчет
22	Ремонт ЗИП РВС	–

### РЕЗЮМЕ

Создана и внедрена в производство технология магнитного контроля днища и стенок РВС, позволяющая исключить пропуск дефектов, возможный при использовании традиционных методов контроля.

Разработано, апробировано и освоено производство магнитных дефектоскопов ИНТРОКОР М 150 и программного обеспечения Wintracor мирового уровня, обладающего уникальными техническими характеристиками и конкурентными преимуществами перед зарубежными и отечественными образцами.

Подготовлен программный комплекс TankResource, реализующий методику оценки срока безопасной эксплуатации РВС с применением конечноэлементной модели РВС, позволяющей прогнозировать ресурс резервуара с учетом дефектов, обнаруженных при диагностике.

### ЛИТЕРАТУРА:

- РД 08-95-95 «Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов». Утверждено Госгортехнадзором России постановлением № 38 от 25 июля 1995г.
- 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 09.07.02г.
- Резервуары вертикальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности (Методические указания) / Российская ассоциация экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности «Росэкспертиза», «Научно-промышленный союз «РИСКОМ», НПК «Изотермик». – М., 2009. – 288 с.
- ВРД 39-1.11-027-2001 «Инструкция по магнитному контролю линейной части магистральных газонефтепродуктопроводов». Авторы: С.Н. Мокроусов, А.А. Абакумов, А.А. Абакумов (мл.) и др., Москва, Госгортехнадзор России, 2001, 18 с.
- Свидетельство о регистрации № 2008612918 «Программа автоматического распознавания данных дефектоскопов МДСкан» Авторы: Д.А. Слесарев, А.В. Семенов и др. Опубликовано 17.06:2010г.
- Л.Ю. Могильнер, Е.Е. Семин. «Оценка технического состояния вертикальных стальных резервуаров». / В мире неразрушающего контроля, №1, 2009. – стр. 14–16.
- РД-77.060.00-КТН-221-09 «Методика контроля антикоррозионного покрытия, металла и сварных швов днища и внутренних металлоконструкций резервуара» ОАО «Транснефть», 2009г. ■



**Россия, 111524, Москва,  
ул. Электродная, 11, стр. 1  
тел. +7 (495) 229-37-47  
факс +7 (495) 510-17-69  
e-mail: info@intron.ru  
www.intron.ru**