

Дискуссионный клуб

УДК 550.832.08:622.245.1

Н. Г. Козыряцкий
ООО "Нефтегазгеофизика"

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ ОБСАДНЫХ КОЛОНН И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕЕ РАЗВИТИЮ

Рассмотрены аппаратурные и методические наработки метрологического обеспечения (МО) дефектоскопии обсадных колонн. Сформулированы задачи МО, не решенные к настоящему времени.

Ключевые слова: профилометрия, микрокавернометрия, гамма-гамма-дефектоскопия, дефектоскопия, имитаторы, толщинометрия обсадных колонн.

Контроль технического состояния обсадных колонн направлен на предотвращение возможных аварий и заключается, в первую очередь, в оценке геометрических характеристик и дефектов обсадных колонн.

Основными характеристиками обсадных колонн, спущенных в скважины, являются, согласно [1, 8], толщина и внутренний диаметр колонны, овальность (эллипсность), эксцентриситет, местоположение муфтовых соединений и др. К числу дефектов обсадных колонн относятся нарушения их целостности в результате прострелочно-взрывных работ, сдвига пород, случайных повреждений при бурении, эрозионного износа при гидропескоструйной перфорации, под влиянием неравномерных механических напряжений. К числу дефектов относятся также трещины различной ориентации, порывы, желоба, негерметичность муфт, внутренняя и внешняя коррозия, отложения (гидратные, парафиновые, солевые) и т. д.

Фактическую толщину стенок колонн и их внутренний диаметр необходимо знать при интерпретации данных контроля цементирования скважин, дебитометрии, расходометрии и других методов исследования обсаженных скважин.

Исследования обсадных колонн необходимы также для выявления самого "чистого" отрезка обсадной колонны перед установкой пробки или пакера, а также перед забуриванием боковых стволов. Пользуясь этими данными, возможно принимать обоснованные решения относительно закрытия или ремонта скважины, а сам ремонт может производиться в точном соответствии с установленными требованиями для восстановления коммерческой эксплуатации скважины.

Достаточно широкая номенклатура определяемых видов дефектов обуславливает разнообразие методов исследований технического состояния обсадных колонн.

Для решения задач оценки состояния обсадных колонн нефтегазовых скважин в настоящее время используется скважинная аппаратура, построенная на различных физических принципах, в том числе:

- трубные (механические, рычажные) профилемеры (ПТ);
- гамма-гамма-дефектоскопы-толщиномеры (СГДТ);
- акустические (скважинные акустические телевизоры (САТ), акустические профилемеры);
- электромагнитные (индукционные) дефектоскопы (ЭМД, МИД).

В табл. 1 указаны сферы применения перечисленных методов исследования состояния обсадных колонн в зависимости от видов их дефектов.

Таблица 1

Сфера применения методов исследования обсадных колонн

Виды дефектов колонн	Методы исследований			
	Ак	Эм	М	Р
Трещины, порывы, сквозные отверстия	+	+	-	-
Износ стенок, толщина стенок	+	+	+	+
Смятия, овальность	+	+	+	-
Повышенное напряжение материала колонны	+	-	-	-

Примечание. Ак – акустические, Эм – электромагнитные, М – механические, Р – радиоактивные методы.

Каждые из перечисленных в табл. 1 измерительных методов и реализующие их технические средства обладают своими особенностями и имеют избирательную информативность (чувствительность и разрешающую способность) к различным особенностям конструкции обсадной колонны и ее дефектам. Неслучайно в практике дефектоскопии колонн для более полного анализа состояния колонны широко применяется комплексирование различных по своей физической природе методов исследования (как правило, акустический + электромагнитный + механический).

Общим же для всех рассматриваемых исследований является необходимость обеспечения требуемого качества исследований, а также, поскольку абсолютное большинство из них реализуется на использовании измерительных систем, вопрос метрологического обеспечения последних.

Обобщающего нормативного документа (НД) в сфере ГИС, устанавливающего требования к качеству дефектоскопии обсадных колонн, нет. Введенные в действие в последнее время национальные стандарты [2, 3] также не содержат количественных показателей, характеризующих требования к качеству выполняемых при дефектоскопии обсадных колонн исследований. Единственным показателем качества мониторинга технического состояния обсадной колонны, регламентированным в [2], является требование к точности оценивания толщин эксплуатационной колонны и НКТ – не хуже $\pm 0,5$ мм.

В определенной степени регламентирующими требования к качеству дефектоскопии обсадных колонн (причем только непосредственно к качеству выполнения скважинных измерений как к процессу), а также правила контроля выполнения этих требований, является документ [5], не затрагивающий вопросы интерпретации результатов измерений. В табл. 2 приведены заимствованные из [5] требования к качеству дефектоскопии обсадных колонн для различных методов ГИС и их модификаций.

Совершенно очевидно, что приведенная в табл. 2 совокупность требований лишь в самой малой мере отражает необходимый уровень качества рассматриваемых видов скважинных исследований.

В соответствии с требованиями к качеству дефектоскопии обсадных колонн в [5] регламентированы также и требования к основным метрологическим характеристикам (МХ) используемых для этих исследований скважинных средств измерений (табл. 3).

Таблица 2
Требования к качеству дефектоскопии обсадных колонн

Метод исследований	Требования к качеству
Трубная (механическая) профилеметрия	Несовпадение результатов калибровок до начала и после каротажа должно быть не более $\pm 5\%$. Измеренные значения радиусов трубы по сходимости основного и повторного измерений должны отличаться не более чем на $\pm 0,5$ мм при отклонении прибора от оси скважины менее 2 мм
Электромагнитная дефектоскопия и толщинометрия	Основное и повторное измерения должны совпадать с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм
Гамма-гамма-толщинометрия колонн и гамма-гамма-цементометрия и дефектоскопия	Повторяемость данных основного и повторного измерений должна быть не хуже $\pm 5\%$
Акустическая дефектоскопия колонн	Погрешность измерения диаметра колонны – не более $\pm 0,5$ мм

Таблица 3
Требования к основным метрологическим характеристикам скважинных дефектомеров

Метод исследований	Измеряемая величина	Диапазон измерений, мм	Основная погрешность, мм
Трубная (механическая) профилеметрия	Радиусы обсадных колонн	От 55 до 170	± 1
	Дополнительное требование: количество измерительных рычагов – не менее 8		
Электромагнитная дефектоскопия и толщинометрия	Минимальный внутренний диаметр обсадных колонн	Не менее 52	Не нормир.
	Толщина стенки обсадной колонны	От 3 до 20	$\pm 0,5$
	Максимально измеряемая суммарная толщина двух колонн	До 19	Не нормир.
	Минимальная протяженность обнаруживаемого дефекта вдоль оси колонны	75	Не нормир.

Окончание табл. 3

Метод исследований	Измеряемая величина	Диапазон измерений, мм	Основная погрешность, мм
	Минимальная протяженность обнаруживаемого дефекта поперек оси колонны	0,5 периметра колонны при ширине зазора не менее 0,1	Не нормир.
	Определение характеристик внешней из двух соосных колонн – на качественном уровне		
Гамма-гамма-толщинометрия колонн	Толщина стенки обсадной колонны	От 5 до 12	± 0,5

Совершенно очевидно, что номенклатура МХ скважинных дефектомеров (табл. 3) необходима, но далеко не достаточна для формирования требований как к качеству дефектоскопии колонн, так и к системе метрологического обеспечения скважинных дефектомеров.

Технические возможности используемых в настоящее время скважинных трубных дефектомеров приведены в табл. 4–7.

Таблица 4
Технические возможности аппаратуры
трубной профилеметрии

Вид аппаратуры	Количество измерительных рычагов	Диапазон измерений диаметров обсадных колонн, мм	Погрешность измерения, мм	
			радиусов	толщин
Профилемеры (профилографы) трубные российского производства (ПТС, ПТ и др.)	8–12	100–300	± 1,2	± 0,5
Профилемеры трубные зарубежного производства (DDS43F, DDS73F, DDS90F, MIT и др.)	24, 40, 56, 60	50,8–508 (2–20) дюймов	± 1,0	± 0,1

Таблица 5

Технические возможности электромагнитных (индукционных) дефектоскопов и толщиномеров

Диапазон измерений диаметров обсадных колонн, мм	Диапазон измерений толщин стенок колонн, мм	Погрешность измерения	
		диаметров [радиусов] колонн	толщины колонны, мм
62–350 (НКТ – не менее 52 мм)	Одиночная колонна – 3–15 Суммарная толщина двух колонн – 20	± (1,0–1,5)% [± 0,5 мм]	Многоколонная конструкция: – первая колонна ± 0,5; – вторая колонна ± 1,5
Характеристики дефектов, выявляемых на качественном уровне			
Минимальные протяженности трещин вдоль оси колонны при исследовании одиночной колонны – 40–300 мм, внутренней колонны двухколонных конструкций – 60–75 мм, а при исследовании внешней из двух соосных колонн – 150–200 мм			
Минимальная протяженность трещины вдоль оси колонны при исследовании через НКТ должна быть не менее 250 мм, а поперек оси колонны при ширине трещины не менее 0,1 мм – 1/3–1/2 периметра колонны			
Минимальные размеры выявленных дефектов типа отверстий должны составлять 9 мм			
Минимальное расстояние между соседними перфорационными отверстиями, выявляемыми раздельно друг от друга, – 100 мм			
Минимальное вертикальное расстояние между двумя частями разорванной одиночной обсадной колонны – 0,1 мм			
Минимальное вертикальное расстояние между двумя частями разорванной обсадной колонны при измерениях через НКТ – 50–150 мм			

Таблица 6

Технические возможности гамма-гамма-дефектоскопов-толщиномеров

Вид аппаратуры	Диапазон измерений диаметров обсадных колонн, мм	Диапазон исследуемых толщин стенок колонн, мм	Погрешность измерения средней толщины стенки колонн, мм
Гамма-гамма-цементомеры (ЦМ)	114–508	5–12	± 0,50
Гамма-плотномеры-толщиномеры скважинные (СГДТ)	139–194	5–12	± (0,45–0,50)

Таблица 7

**Технические возможности акустических дефектоскопов
обсадных колонн**

Диапазон измерений диаметров обсадных колонн (скважин), мм	Диапазон исследуе- мых толщин стенок колонн, мм	Погрешность измерения, мм	
		радиусов (диаметров)	средней толщины стенки колонны
85–240 (125–350)	4,5–10	± 0,5 ± (0,2–1,0)	± (0,2–0,4)
Разрешающая способность по горизонтали по нарушениям в колонне – не менее 6–10 мм			

Широкая номенклатура измеряемых и регистрируемых дефектов обсадных колонн позволяет сформулировать задачи их дефектоскопии как единую измерительную (исследовательскую) задачу, независимую от метода измерений и используемых видов технических средств, связанную лишь с объектом измерений (наблюдений) – обсадной колонной и ее дефектами. При этом с точки зрения построения системы МО дефектоскопии обсадных колонн, измеряемые и наблюдаемые параметры, характеризующие их техническое состояние, целесообразно разделить на три группы:

- 1) внутренний профиль обсадной колонны и (или) параметры, описывающие его математическую модель – средний диаметр, овальность, коэффициент эксцентричности стенки колонны;
- 2) толщина обсадной колонны – средняя по периметру, средняя по секторам, наблюдаемая в точке (дифференциальная толщина), непрерывный профиль с заданной дискретностью;
- 3) дефекты обсадных колонн и их параметры – разрывы колонны, трещины различной ориентации, перфорационные отверстия.

При такой постановке вопроса исходными средствами МО скважинных дефектомеров, независимо от метода, положенного в основу измерений и наблюдений, должен быть комплект стандартных образцов и моделей обсадных колонн и их дефектов, максимально соответствующий условиям проведения работ и доступный к измерению всеми известными типами дефектоскопов. Такая система МО скважинных дефектомеров допускает и предполагает использование в качестве вторичных эталонов любых специализированных и применимых для конкретных типов аппаратуры средств калибровки в качестве имитаторов тех или дефектов обсадных колонн.

К настоящему времени в области метрологического обеспечения дефектоскопии обсадных колонн имеются технические решения для отдельных методов дефектоскопии, суть которых вкратце изложена ниже.

Трубная профилеметрия

Основным техническим средством метрологического обеспечения трубных рыхажных профилемеров является набор из не менее пяти образцовых колец или калибровочные установки, которые воспроизводят значения диаметров обсадных колонн в диапазоне от 100 до 800 мм с погрешностью не более $\pm (0,5-1,0)$ мм. Широко используются также полевые калибровочные устройства, поставляемые заводами-изготовителями, так называемые "гребенки", если погрешность воспроизведения ими диаметров не превышает $\pm 1,0$ мм.

Наименование и характеристики современных калибровочных установок для скважинных профилемеров приведены в табл. 8.

Таблица 8
Калибровочные установки для скважинных профилемеров

Наименование установки и ее обозначение	Метрологические характеристики	
	Диапазон воспроизводимых диаметров (толщин стенок колонны), мм	Основная погрешность, мм
Установка УАК-Кав-700 для автоматизированной калибровки каверномеров-профилемеров	$130 \pm 5, 300 \pm 10, 500 \pm 20,$ 750 ± 50	$\pm 0,5$
Установка УАК-КП для автоматизированной калибровки скважинных каверномеров и профилемеров	130, 300, 500, 700	$\pm 0,5$
Трубы с разной толщиной стенок и дефектами УК-ТД	73–245 (3–12)	По толщине $\pm 0,3$

Электромагнитные (индукционные) дефектоскопы и толщиномеры

В качестве средств метрологического обеспечения электромагнитных (индукционных) дефектоскопов и толщиномеров в абсолютном

большинстве случаев используются отрезки труб (обсадных колонн) с искусственно созданными дефектами [9–12]. Количество труб в комплекте составляет у разных производителей от 11 до 17, внешние диаметры – от 73 до 246,3 мм, внутренние – от 52 до 228,5 мм, толщина труб лежит в диапазоне от 3 до 12 мм. Трубы имеют дефекты в виде отверстий диаметром до 14 мм, деформации, уменьшающие внутренний диаметр труб, а также “разрывы” длиной от 70 до 300 мм.

На рисунке представлены типичные конструкции имитаторов дефектов, используемые для метрологического обеспечения и контроля характеристики электромагнитных дефектоскопов.

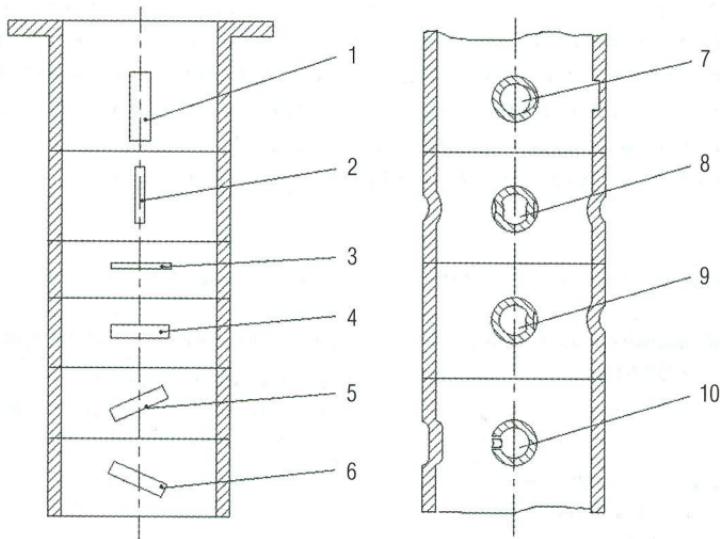


Рис. Конструкция имитаторов для метрологического обеспечения дефектоскопов обсадных колонн:

1 – прорезь вертикальная широкая; 2 – прорезь вертикальная узкая; 3 – прорезь горизонтальная узкая; 4 – прорезь горизонтальная широкая; 5, 6 – прорези под разными углами; 7 – односторонний износ в виде желоба; 8 – двухсторонняя деформация; 9 – односторонняя деформация; 10 – односторонняя деформация в виде вмятины с прорезями

Гамма-гамма-дефектоскопы-толщиномеры

Основным техническим средством метрологического обеспечения скважинных гамма-гамма-дефектоскопов-толщиномеров являются

стандартные образцы плотномеров-толщиномеров (СО-ПТ) [15], конструктивно выполненные в виде шести цилиндрических стаканов высотой 3,5 м и диаметром 1620 мм с расположеннымными внутри стакана стальными колоннами диаметром 102, 114, 146, 168, 178, 219, 245, 324, 430 мм, каждая из которых состоит из трех составных цилиндров высотой по 1 м с разной толщиной стенки – $6 \pm 0,5$; $8 \pm 0,5$ и $10 \pm 0,1$ мм (возможный вариант – $5 \pm 0,5$; $7 \pm 0,5$ и $9 \pm 0,1$ мм). Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности воспроизведения толщины стенки колонны составляют $\pm 0,2$ мм.

Используются также калибровочные установки, основные метрологические характеристики которых приведены в табл. 9.

Таблица 9

Калибровочные установки для скважинных гамма-гамма-дефектоскопов-толщиномеров

Наименование установки и ее обозначение	Метрологические характеристики	
	Диапазон воспроизводимой толщины стенки колонны, мм	Основная погрешность, мм
Калибровочная установка УК-ТД (трубы с разной толщиной стенок и дефектами)	3–12	$\pm 0,3$
Установка поверочная УПТП-1 для скважинных толщиномеров и плотномеров	6, 8 и 10	$\pm 0,1$
Установка УПТП-2 для калибровки скважинных гамма-плотномеров-толщиномеров	5,9, 8 и 10	$\pm 0,1$
Установка УП-СГДТ для калибровки скважинных плотномеров-толщиномеров	4–13	$\pm 0,2$
Установка СГДТ для калибровки аппаратуры	5,83; 6,40; 7,74; 7,82; 7,85; 7,86; 8,70; 8,83; 10,84	$\pm 0,26$

Акустическая дефектоскопия колонн

Для калибровки аппаратуры акустической дефектоскопии используются два цилиндрических образца из оргстекла разной длины с аттестованными значениями времени пробега акустического импульса

[4] (стандартные образцы для калибровки ультразвуковых дефектоскопов строительных конструкций).

Таким образом, можно утверждать, что в области метрологического обеспечения дефектоскопии обсадных колонн имеются определенные наработки, хотя есть и нерешенные проблемы, сущность которых в основном сводится к отсутствию единых подходов к номенклатуре и требуемой точности измеряемых параметров при дефектоскопии колонн и отсутствию стандартизованного метрологического обеспечения данной измерительной задачи.

Эти проблемы предполагают решение следующих задач, представляющихся в настоящем времени нерешенными (или не до конца решенными):

- определение и классификация номенклатуры определяемых (измеряемых) параметров (характеристик) дефектов обсадных колонн, единиц физических величин, соответствующих выполняемым измерениям (определениям), их стандартизация;
- определение требований по диапазонам и допустимым погрешностям измерений в зависимости от решаемых задач и применяемых методов;
- стандартизация терминологии в области дефектоскопии обсадных колонн;
- стандартизация показателей назначения аппаратуры дефектоскопии обсадных колонн, унификация требований к аппаратуре;
- определение областей применения разных методов исследования в зависимости от решаемых задач;
- формулирование и регламентация требований, в том числе выраженных количественными показателями, к качеству дефектоскопии обсадных колонн;
- нормирование номенклатуры МХ аппаратуры дефектоскопии обсадных колонн исходя из методических возможностей метода измерений и конкретных технических решений, реализованных при разработке аппаратуры;
- уточнение номенклатуры влияющих факторов (например, влияние неоднородности магнитных свойств обсадных колонн, влияние плотности вещества в затрубном пространстве на канал толщиномера и др.) на погрешности измерений и учет этих факторов при построении методик выполнения измерений;

- решение традиционных задач МО: регламентация методик выполнения измерений, разработка и изготовление технических средств метрологического обеспечения дефектоскопии обсадных колонн, в том числе воспроизводящих малые или микродефекты (например, ширину трещины в пределах 0,1–0,5 мм), и регламентация методик калибровки и калибровочных схем аппаратуры для дефектоскопии обсадных колонн;
- унификация и стандартизация системы передачи единиц измерения, при обоснованной необходимости – разработка комплекта калибровочных схем разных методов исследования;
- унификация и стандартизация методик калибровки, оценки работоспособности, подтверждения соответствия.

Достаточно актуальной представляется также задача создания универсальных моделей, эталонов, калибровочных установок, позволяющих проводить контроль как можно более широкой номенклатуры показателей назначения дефектоскопов независимо от аппаратурной реализации того или иного метода исследований состояния обсадных колонн и приемлемых для более широкой номенклатуры аппаратуры дефектоскопии обсадных колонн.

Создание предлагаемой системы метрологического обеспечения дефектоскопии позволит адекватно определить место каждого из используемых в настоящее время видов аппаратуры и послужит толчком к созданию более эффективных комплексных технологий дефектоскопии обсадных колонн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С. Общий курс геофизических исследований скважин: Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. М.: Недра, 1984.
2. ГОСТ Р 53239-2008. Хранилища природных газов подземные. Правила мониторинга при создании и эксплуатации.
3. ГОСТ Р 53709-2009. Скважины нефтяные и газовые. Геофизические исследования и работы в скважинах. Общие требования.
4. МИ 41-17-1405-2011. Методическое руководство по применению аппаратуры акустического каротажа АСТ-К-80.
5. РД 153-39.0-072-01. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М., 2001.
6. РД 39-04-949-83. Ведомственная поверочная схема для скважинных средств измерений толщины стенки труб.

7. РДС 39-1-035-80. Руководящий документ стандартизации. Ведомственная поверочная схема для скважинных каверномеров и профилемеров.
8. СТО ЕАГО 045-01-98. Геофизические исследования и работы в скважинах. Исследования и контроль технического состояния скважин. Термины, определения, буквенные обозначения.
9. СТО ТК 293-019-01-2000. Геофизическая аппаратура и оборудование. Дефектоскоп-толщиномер магнитоимпульсный кабельный типа МИД-К. Параметры, характеристики, требования. Методы контроля и испытаний.
10. СТО ТК 293-020-01-2000. Геофизическая аппаратура и оборудование. Дефектоскоп-толщиномер электромагнитный скважинный типа ЭМДС-ТМ-42. Параметры, характеристики, требования. Методы контроля и испытаний.
11. СТО ТК 293-025-01-2001. Геофизическая аппаратура и оборудование. Аппаратура электромагнитной дефектоскопии типа ЭМДСТ-МП. Параметры, характеристики, требования. Методы контроля и испытаний.
12. СТО ЕАГО 082-01-2000. Геофизическая аппаратура и оборудование. Дефектоскоп-толщиномер магнитоимпульсный кабельный типа МИД-К. Параметры, характеристики, требования. Методы контроля и испытаний.
13. СТО ТК 440-013-01-2006. Геофизическая аппаратура и оборудование. Профилограф-дефектоскоп электромагнитный скважинный ЭСПД-2/12-104. Параметры, характеристики, требования. Методы контроля и испытаний.
14. СТО ЕАГО 077-01-99. Геофизическая аппаратура и оборудование. Профилограф электромагнитный типа КСП-Т-7М. Параметры, характеристики, требования. Методы контроля и испытаний.
15. Широков В. Н., Лобанков В. М. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебник. М.: МАКС Пресс, 2008.