

УДК 550.832.53/75:622.245.1

*Ш. В. Габбасов, А. О. Камельянов,  
А. В. Кондрашов, Р. Р. Куйбышев  
АО НПП «ВНИИГИС», АО НПФ «ГИТАС»*

## **НОВЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБСАЖЕННЫХ СКВАЖИН**

Рассматриваются новые разработки цифровой скважинной аппаратуры, позволяющей осуществлять мониторинг технического состояния скважины и за- колонного пространства. Приведены технические характеристики комплексного скважинного прибора радиоактивного каротажа КСПРК-Ш-50-Т и аппаратуры магнитоимпульсной дефектоскопии МИД-С6 и МИД-4, позволяющих проводить измерения в скважинах с температурой до 150 °С и давлением до 100 МПа, а с помощью МИД-4 – оценить техническое состояние скважин с четырехколонной конструкцией.

*Ключевые слова: техническое состояние эксплуатационной скважины, аппаратура, мониторинг, радиоактивные методы, дефектоскопия.*

В процессе эксплуатации нефтегазовых скважин иногда развиваются усталостные, механические и коррозионные нарушения колонн, происходит разрушение цементного камня, а также изменение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) и характера насыщения коллекторов. Поэтому для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации скважин необходимо осуществлять мониторинг их состояния, включающий как контроль технического состояния колонн и цементной крепи, так и эксплуатационных характеристик пластов.

На протяжении многих лет диагностика состояния эксплуатационных скважин является одной из актуальных задач как в России, так и за рубежом.

АО НПП «ВНИИГИС» совместно с АО НПФ «ГИТАС» занимаются разработкой цифровой скважинной аппаратуры для решения этой задачи с 80-х годов прошлого века. За это время было создано несколько серий различных видов аппаратуры, среди которых особое место занимают малогабаритные аппаратурно-методические комплексы для исследования действующих скважин, базирующиеся на спектрометрических ядерных методах и магнитоимпульсной дефектоскопии.

Последние широко известные аппаратурные разработки представлены следующими приборами: комплексным спектрометрическим прибором радиоактивного каротажа КСПРК-Ш [1], магнитоимпульсными дефектоскопами МИД-К и МИД-С [3], а также универсальной комплексной двухмодульной аппаратурой ОТСК-ОСЗП, которая успешно эксплуатируется с 2014 г. и позволяет определить изношенность и дефекты труб, оценить качество цементирования, литологию и характер насыщения коллекторов [2].

Необходимость решать геофизические и геолого-технические задачи с наибольшей достоверностью при минимальных временных, технических и финансовых затратах требует дальнейшего развития аппаратуры и технологии каротажа. Учитывая эффективность созданных ранее аппаратурно-методических комплексов типа КСПРК-Ш и МИД, новая аппаратура разрабатывалась на их основе с учетом дополнительных возможностей.

Аппаратура КСПРК-Ш-50-Т разработана на основе КСПРК-Ш-48 и отличается от прототипа возможностью осуществлять исследования скважин при температуре до 150 °С и давлении до 100 МПа с дополнительной локацией муфт (ЛМ) и полноценным манометром вместо индикатора давления (КСПРК-Ш-48). Зонды ЛМ и манометрии позволяют применять аппаратуру в том числе и для стандартного ГИС-контроля. Ранее исследования аппаратурой КСПРК-Ш приходилось комплексировать с измерениями аппаратурой типа КСАТ, реализующей ЛМ, термометрию, манометрию, 2ННК и интегральные методы ГК и НГК.

Аналогично КСПРК-Ш аппаратура КСПРК-Ш-50-Т реализует методы трехзондового СНГК, двухзондового ННК-Т, СГК и позволяет выполнять радиальное зондирование прискважинного пространства на основе регистрации спектров гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ), плотности потока тепловых нейтронов от закрытого радионуклидного источника быстрых нейтронов, а также определять содержание естественно-радиоактивных элементов (ЕРЭ) по спектру СГК. Это дает возможность за одну спуско-подъемную операцию решать следующие основные задачи:

- определение текущего насыщения коллекторов и коэффициентов продуктивности ( $k_{\Gamma}$  и  $k_{\Pi}$ ) в радиальных зонах прискважинного пространства;
- построение объемной литологической модели и модели глин;

- выделение зон скопления газа в межколонном и заколонном пространстве скважин;
- выявление каверн и оценка их линейных размеров в прискважинной зоне терригенных газоотдающих коллекторов;
- экспресс-оценка степени заполнения цементом заколонного пространства (нейтронная цементметрия).

На основании решения этих задач дополнительно можно также решать целый ряд других. Например, оценивать устойчивость ствола скважины по анализу состава вскрытых горных пород, выявлять работающие и заблокированные интервалы перфорированных коллекторов, оценивать эффективность интенсификации коллекторов и т. д.

Аппаратура КСПРК-Ш-50-Т состоит из трех модулей, которые могут компоноваться в зависимости от цели исследований и поставленных задач, а также может работать в связке с аппаратурой МИД-С6.

Аппаратура магнитоимпульсной дефектоскопии МИД-С6 характеризуется следующими особенностями:

- модульное исполнение, что позволяет состыковывать ее с модулями КСПРК-Ш-50-Т;
- возможность проведения дефектоскопии и толщинометрии двух труб с определением величины изменения толщины стенок этих труб и их поперечных и продольных дефектов;
- возможность уточнения устройства многоколонной конструкции скважины (до четырех колонн);
- наличие высокочувствительного термометра и зонда ГК.

Технические характеристики и внешний вид аппаратурно-методического комплекса КСПРК-Ш-50-Т–МИД-С6 приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2.

Таблица 1

## Технические характеристики аппаратуры КСПРК-Ш-50-Т

Наименование зондов	Количество зондов
ННК-Т	2
СНГК-Ш	3 (по 2 спектра по 256 каналов)
СГК	1 (256 каналов)
Энергетический диапазон регистрации гамма-квантов канала СГК, МэВ	0,1–3,5
Энергетический диапазон регистрации гамма-квантов канала СНГК полного спектра МЗ, СЗ, БЗ, МэВ	0,1–8,0

Таблица 1 (продолжение)

Энергетический диапазон регистрации низкоэнергетического спектра СНГК-Ш МЗ, СЗ, БЗ, МэВ	0,1–0,8
Энергетическое разрешение спектров по пику $^{137}\text{Cs}$ , %	не более 15
Максимальное рабочее давление, МПа	100
Максимальная рабочая температура, °С	150
Диаметр прибора, мм	50
Длина модуля СГК с верхним центратором, мм	2000
Длина модуля МНК (без центраторов), мм	не более 2500
Длина модуля ЛМ-Т-М (с центраторами), мм	не более 3100
Вес модуля СГК с центраторами, кг	не более 15
Вес модуля МНК с центраторами, кг	не более 30
Вес модуля ЛМ-М-Т с центраторами, кг	не более 20

Таблица 2

## Технические характеристики аппаратуры МИД-С6

Максимальный диаметр исследуемых труб, мм	324
Разрешающая способность термометра, °С	0,01
Постоянная времени термометра, с	0,5
Погрешность измерения толщины стенки одиночной трубы, мм:	
– при исследовании одиночной трубы 2,5"	±0,4
– при исследовании одиночной трубы 5"	±0,7
Погрешность измерения толщины стенки обсадной трубы 5" сквозь НКТ, мм	±0,5
Минимальная протяженность дефекта типа «трещина» вдоль оси трубы, мм:	
– при исследовании одиночной трубы 2,5"	20
– при исследовании одиночной трубы 5"	30
– при исследовании обсадной трубы 5" через НКТ	70
Минимальная протяженность дефекта типа «поперечная трещина»	1/8 периметра
Максимальная температура эксплуатации, °С	150
Максимальное рабочее давление, МПа	100
Габаритные размеры скважинного прибора, мм:	
– диаметр	50
– длина	4175
Вес скважинного прибора с модулем ГК, кг	20,8



Рис. 1. Схема аппаратуры КСПРК-Ш-50-Т



Рис. 2. Внешний вид аппаратуры МИД-С6

Пример интерпретации результатов исследования комплексом КСПРК-Ш-50-Т-МИД-С6 приведен на рис. 3, на котором показана конструкция скважины, уточненная по данным МИД-С6, рассчитанная по результатам КСПРК-Ш-50-Т объемная литологическая модель в сложном смешанном разрезе, включающем отложения эвапоритовой формации.

На рис. 3 также приведены параметры дефицита плотности и водородосодержания (Pdd) и коэффициентов газонасыщенности ( $k_r$ ) для различных радиальных зон, позволяющие в комплексе с толщинами колонн (Th) НКТ (TBG), эксплуатационной колонны (CSG) и лайнеров (LNR) диаметрами 4 и 7 дюймов оценить техническое состояние двух внутренних колонн в многоколонной конструкции скважины и выявить заколонные и межколонные скопления газа. Интервалы скоплений газа, также как и степень заполнения межколонного пространства цементным камнем по результатам нейтронной цементометрии за двумя ближними колоннами, показаны для каждой из колонн отдельно (рис. 3).

Из рис. 3 хорошо видно, что МИД-С6 позволяет уточнить конструкцию такой сложной скважины, но при этом толщины и дефекты определяются только для двух колонн. В подобных случаях такой информации для оценки технического состояния скважины бывает недостаточно. Это обстоятельство предопределило создание новой модификации аппаратуры магнитоимпульсной дефектоскопии – МИД-4.

Аппаратура МИД-4 предназначена для детального контроля технического состояния стальных обсадных и насосно-компрессорных труб в незаглушенных и заглушенных газовых и нефтяных скважинах многоколонных конструкций. Внешний вид и технические характеристики аппаратуры МИД-4 показаны на рис. 4 и в табл. 3. В состав прибора входят три зонда дефектоскопа-толщиномера, высокочувствительный термометр, модуль гамма-каротажа и датчик давления.

Отличительной особенностью этой аппаратуры является определение дефектов четырех ближних колонн.

Во вновь бурящихся скважинах МИД-4 используется для контроля:

- конструкции скважины до пяти колонн;
- соответствия проекту интервалов установки колонн с разным диаметром и толщиной стенки;
- интервала установки хвостовиков;



– целостности колонны и степени износа в процессе работы инструмента.

В действующих скважинах аппаратура МИД-4 позволяет определить:

- интервалы перфорации;
- местоположение сквозных нарушений;
- разрыв колонн в четырехколонной конструкции;
- фактические интервалы установки герметизирующих пластырей;
- фактическую глубину установки заколонных пакеров и т. п.;
- конструкцию скважины до пяти колонн;
- интервалы коррозии и степень износа колонны;
- интервалы нарушений колонны, требующие ремонта;
- толщину первой, второй, третьей и четвертой колонн.

Таблица 3

## Технические характеристики аппаратуры МИД-4

Максимальный диаметр исследуемых труб, мм	508
Количество исследуемых труб	1; 2; 3; 4
Минимальный диаметр исследуемой трубы, мм	60
Максимальная суммарная толщина 4 исследуемых труб, мм	50,8
Погрешность измерения толщины стенок труб, мм:	
– при исследовании 1-й колонны труб	±0,5
– при исследовании 2-й колонны труб	±0,7
– при исследовании 3-й колонны труб	0,15 × номинальную толщину трубы
– при исследовании 4-й колонны труб	0,2 × номинальную толщину трубы
Минимальная протяженность дефекта типа «трещина» вдоль оси трубы, мм:	
– при исследовании 1-й трубы	1/12 периметра
– при исследовании 2-й трубы	1/4 периметра
– при исследовании 3-й трубы	1/3 периметра
– при исследовании 4-й трубы	1/2 периметра
Минимальная протяженность обнаруживаемого дефекта типа «поперечная трещина» для 1-й трубы	1/7 периметра
Разрешающая способность термометра, °С	0,01
Постоянная времени термометра, с	0,5
Температура эксплуатации, °С	от –10 до +150
Максимальное рабочее давление, МПа	100
Габаритные размеры (диаметр / длина, мм)	42/6735



Рис. 4. Внешний вид аппаратуры МИД-4

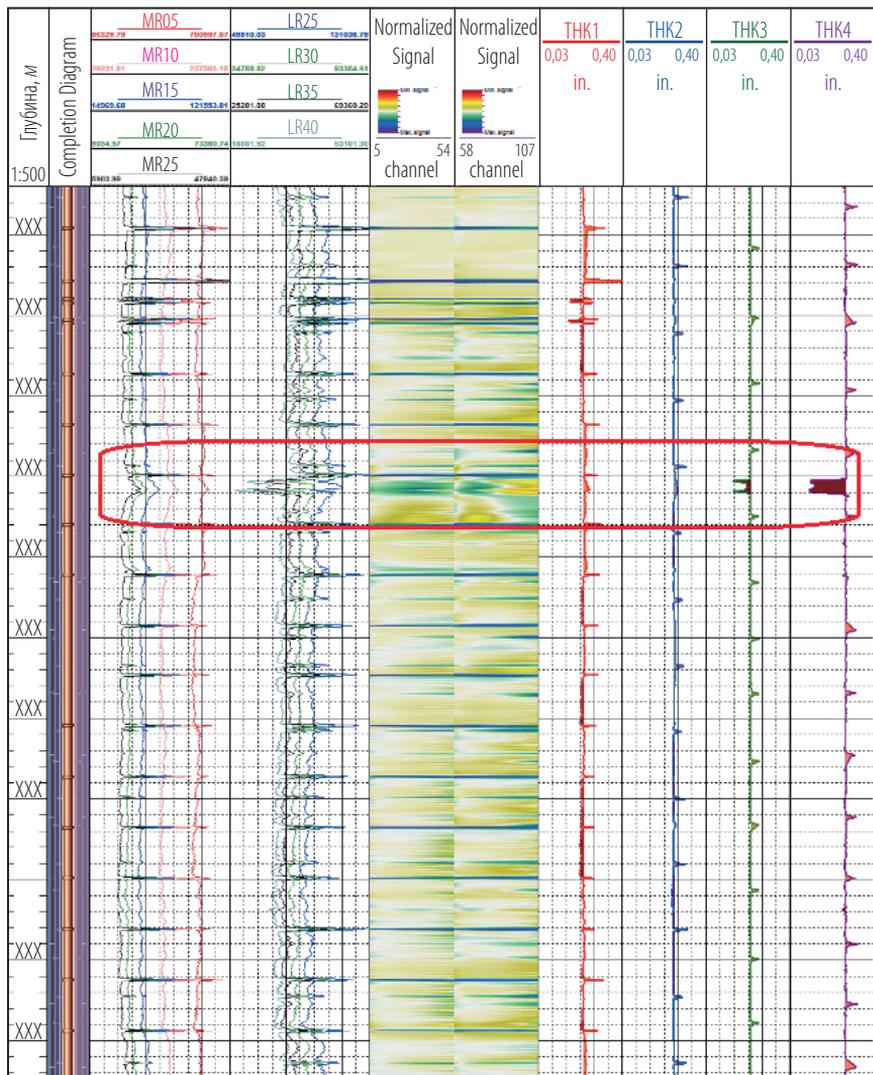


Рис. 5. Выявление коррозии в 3-й колонне и нарушения целостности 4-й колонны по данным МИД-4

На рис. 5 показан пример интерпретации данных МИД-4. Посчитаны толщины труб 1-й, 2-й, 3-й и 4-й колонн (ТНК1, ТНК2, ТНК3, ТНК4). По данным длинного зонда (LR25, LR30, LR35, LR40) выделяется интервал с уменьшением амплитуды сигнала на поздних временных измерениях. По анализу кривых спада и толщины колонн наблюдаемое нарушение трубы соответствует 4-й колонне. В этом же интервале отмечается увеличение амплитуды сигнала короткого зонда (MR05, MR10, MR15, MR20, MR25), что с учетом кривых спада и ТНК3 свидетельствует о коррозии трубы 3-й колонны.

Представленные выше новые аппаратурно-методические комплексы, разработанные ВНИИГИС и ГИТАС, метрологически и методически обеспечены. Измерения выполняются единой технологической программой Iкаг (И. З. Миннуллин). Это удобно при выполнении калибровок и каротажа скважин разными приборами и комплексами. Программа Iкаг позволяет получать данные от скважинных модулей, осуществлять графический вывод всей информации, в том числе спектров СГК и ЗСНГК-Ш, а также кривых спадов длинного и короткого зондов МИД для online-контроля каротажа и регулировки настроек, регистрировать полученные данные вместе с сопутствующей технологической информацией на жестком диске компьютера с последующим выводом в LAS-формате. После загрузки планшета и выбора модулей прибора в программе имеется возможность установить интервал квантования, параметры сохранения данных и скорость приема-передачи данных, что позволяет установить требуемый уровень детализации измерений. Технологическое программное обеспечение позволяет выполнять калибровку пористости по 2ННК, интегральной гамма-активности, манометра, термометра и эталонирование зондов МИД. Файлы калибровок сохраняются и загружаются автоматически при определении номера прибора, обеспечивая в процессе каротажа запись и отображение параметров на экране монитора непосредственно в физических единицах.

Таким образом, новые аппаратурные разработки КСПРК-Ш-50-Т, МИД-С6 и МИД-4, сохраняя лучшие качества своих прототипов, характеризуются расширением возможностей решения геолого-технических задач и позволяют выполнять исследования скважин с многоколонной конструкцией в сложных термобарических условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашов А. В., Даниленко В. Н., Шамшин В. И. и др. Многометодная спектрометрическая аппаратура ядерного каротажа для исследований газовых скважин // НТС «Вести газовой науки». М.: Изд. ООО «Газпром ВНИИГАЗ». 2014. № 3. С. 121–128.
2. Кондрашов А. В., Куйбышев Р. Р., Миннуллин И. З. Универсальная малогабаритная комплексная аппаратура для исследования газовых скважин (ОТСК-ОСЗП) // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2016. Вып. 6 (264). С. 209–215.
3. Потапов А. П., Кнеллер Л. Е., Даниленко В. Н. Магнитоимпульсная дефектоскопия-толщинометрия обсадных колонн и насосно-компрессорных труб. М.: ВНИИгеоресурс, 2012. 146 с.

*Рецензент канд. геол.-минер. наук Н. М. Зараменских*

УДК 550.832.75:622.245.1

*А. П. Потапов, В. Н. Даниленко, В. В. Даниленко,  
Г. И. Головацкая, Р. Р. Куйбышев, В. И. Шамшин  
АО НПП «ВНИИГИС», АО НПФ «ГИТАС», ПАО «Газпром»*

## **НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОЛЩИНОМЕТРИИ ОБСАДНЫХ КОЛОНН В МНОГОКОЛОННЫХ СКВАЖИНАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Даны теоретические основы метода, приведены результаты расчета кривых спада переходных процессов для разного типа моделей скважин 3-, 4- и 5-колонной конструкции. Описаны основные этапы толщинометрии обсадных колонн в многоколонных скважинах и основные блоки алгоритма интерпретации. Приведены примеры оценки технического состояния обсадных колонн в многоколонных скважинах, обсаженных трубами большого диаметра.

*Ключевые слова: толщинометрия, многоколонная скважина, метод переходных процессов, технология.*

В последние годы нефтегазовые компании (Saudi Aramco, ZADCO, ADMA-OPCO, Kuwait Oil Company, Royal Dutch Shell, Columbia Gas Transmission, ПАО «Газпром» и др.) проявляют большой интерес к технологиям, позволяющим определять потерю металла в третьей, четвертой и пятой обсадных колоннах газовых и нефтяных скважин.