

Таблица 3 (окончание)

9	Переводник ориентирующий	Н 102/М 102	120,00	–	0,56	9–11
10	РЭК (разделитель)	Н 102/М 102	120,00	57	0,82	9–11
11	НУБТ ЗТК (ГК гамма-каротаж, инклинометр)	Н 102/М 102	120,00	56	4,59	11,2–13,5
12	НУБТ ЗТК (ННК нейтронный каротаж)	Н 102/М 102	120,00	57,20	6,32	11,2–13,5
13	Акустический профилемер	Н 102/М 102	120,00	50,00	1,56	
14	ТБТ (2 св)	Н 102/М 102	102,00	65,09	48,15	21,5–35,9
15	ЯСС ГМБЯ-120	Н 102/М 102	120,00	57,00	4,70	9–11
16	Переводник элеваторный	Н 102/М 102	127,00	50,80	1,06	9–11
17	ТБТ (6 св)	Н 102/М 102	102,00	65,09	143,90	21,5–35,9
18	ТБПКВ-101,6 (36,5 св)	Н 102/М 102	101,60	84,84	910,87	21,6–36
19	Переводник	Н 102/М 102	120,50	57,00	0,40	9–11
20	ТБТ (ретранслятор)	Н 102/М 102	121,00	57,00	6,43	11,1–13,2
21	РЭК	Н 102/М 102	120,00	57,00	0,83	9–11
22	ТБПКВ-101,6 (ост.)	Н 102/М 102	101,60	84,84	ост.	21,6–36

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдрахманов Д. А., Бельков А. В., Будаев Д. А., Хасанов Д. Н. и др. Развитие технологий каротажа во время бурения (LWD) на базе отечественного комплекса телеметрии с электромагнитным каналом связи // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2016. Вып. 7 (265). С. 108–117.
2. Васильев А. В., Яхина И. А. Системы каротажа в процессе бурения производства ООО НПФ «ВНИИГИС-ЗТК» // XXIV Научно-практическая конференция «Новая геофизическая техника и технологии для решения задач нефтегазовых компаний». Тезисы докладов. Уфа: Изд-во ООО «НовТек Бизнес», 2018. С. 37–39.
3. Леготин Л. Г., Рафиков В. Г., Крюков Д. В., Шакиров А. Г. и др. Акустический профилемер для геофизических исследований горизонтальных скважин // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2014. Вып. 3 (237). С. 106–116.
4. Никонов В. А., Васильев А. В., Яхина И. А., Султанов В. Ф. Новые разработки ООО НПФ «ВНИИГИС-ЗТК» в области каротажа в процессе бурения // Бурение и нефть. 2020. № 4. С. 38–40.

Рецензент канд. техн. наук В. Н. Даниленко

УДК 550.832.44:622.276.66

Л. Г. Леготин, А. А. Ахмадеев, С. Ф. Смирнов,
В. Г. Рафиков, В. И. Пастух
ООО НПФ «АМК ГОРИЗОНТ»
ООО «Газпромнефть-Хантос»

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ПРОФИЛЕМЕТРИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И УСТАНОВКЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Разработана и внедрена в эксплуатацию аппаратура акустической профилометрии с каналами ядерных методов каротажа, позволяющая включать комплекс в компоновку при бурении и проработке горизонтальных и боковых стволов скважин. Приведены примеры скважин, в которых данные профилометрии используются для моделирования дизайна оборудования для многостадийного гидроразрыва пластов.

Ключевые слова: горизонтальные скважины, акустическая профилометрия, многостадийный гидроразрыв.

С каждым годом объем запасов углеводородов в легкоразрабатываемых пластах снижается и на смену приходят так называемые трудноизвлекаемые запасы (ТриЗ) – низкопроницаемые объекты, отличающиеся высокой неоднородностью и низкими коллекторскими свойствами, а также высокой степенью расчлененности пласта. Это негативно сказывается на уровнях добычи углеводородов.

Нефтегазодобывающими компаниями ведется поиск наиболее рентабельных технологий и методов увеличения объемов добычи углеводородного сырья (УВС) в совокупности с уменьшением себестоимости строительства эксплуатационных скважин и сокращением времени их ввода в эксплуатацию.

Один из наиболее эффективных методов повышения продуктивности скважин – гидроразрыв пласта (ГРП), который позволяет значительно увеличить объем отбора УВС. Около 10 лет назад началось активное внедрение технологий многостадийного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах (МГРП). Сегодня этот метод стал повседневной технологией повышения нефтеотдачи и применяется при добыче как традиционных запасов, так и трудноизвлекаемых [1, 2].

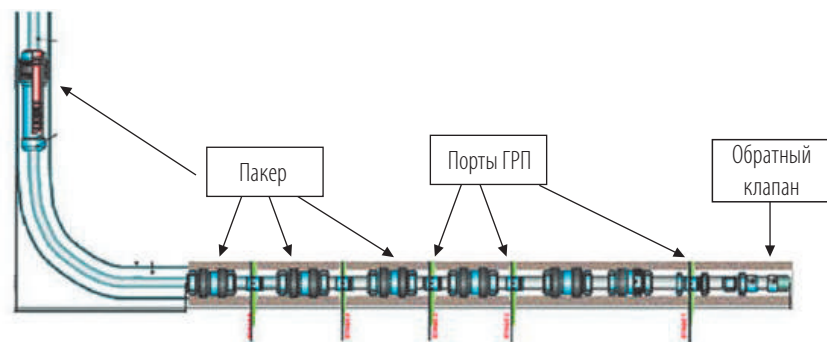


Рис. 1. Стандартная конструкция скважины с горизонтальным окончанием для МГРП

Наиболее широко применяемая технология на сегодняшний день – это МГРП с разобщением и изоляцией заколонного пространства и портов ГРП разбухающими или гидравлическими пакерами (рис. 1). Такой метод, при правильной реализации и выполнении всех необходимых технологических операций, достаточно эффективен и экономически выгоден, поскольку при достаточной длине горизонтального ствола позволяет провести более двух десятков гидроразрывов только в одном стволе скважины и таким образом значительно увеличить площадь дренирования пласта, содержащего УВС, и, соответственно, дебит скважины.

Для повышения экономической эффективности такой технологии, помимо правильного подбора скважин-кандидатов, прогнозирования и моделирования процесса образования трещин в пласте, грамотных расчетов по объему и давлению технологических жидкостей, выбора качественного по своим свойствам проппанта, слаженных действий при реализации МГРП и т. д., очень важным фактором является правильный выбор и моделирование дизайна портов ГРП и надежное их разобщение гидравлическими (либо самонабухающимися) пакерами.

В настоящее время специалистами по ГРП накоплен большой опыт по определению интервалов установки портов (муфт) и разобщающих их пакеров. Выработано множество критериев и рекомендаций, по которым выбираются участки скважины, где пакеры будут надежно изолировать интервалы ГРП и где их установка категорически запрещена. Основной принцип (он также рекомендован разработчиками пакерного оборудования) – это установка в интервал, где диаметр

ствола равен номинальному или близок к нему и сечение скважины близко к форме правильной окружности. Установка пакеров в интервалы, где диаметр больше диаметра раскрытия пакера, может привести к следующим последствиям:

- потере расчетного давления технологической жидкости, необходимого для образования трещин гидроразрыва;
- потерям необходимого объема проппанта (либо кислоты, если МГРП кислотный), что в свою очередь не позволяет удерживать образовавшиеся трещины открытыми;
- зашламивание и закольматирование призабойной зоны пласта.

Таким образом, эффекта от гидроразрыва, который должен привести к увеличению дебита скважины, не будет и, соответственно, экономические затраты на него будут напрасными.

Единственный прямой метод определения диаметра скважины его профиля и сечения – профилометрия. К сожалению, по различным причинам (экономия средств, незнание о существовании подобной аппаратуры и др.) в большинстве случаев расстановка портов ГРП и пакеров производится «вслепую». Несмотря на то что есть породы, устойчивые к кавернообразованию, такие как плотные (карбонатизированные) песчаники, чистые песчаники, доломиты и т. д., полагаться только на петрофизические характеристики таких пород нельзя. Во-первых, в большинстве случаев присутствует анизотропия пластов, вследствие этого возможны неравномерные по сечению вывалы, в результате чего сечение скважины теряет форму окружности. Во-вторых, при постоянном воздействии бурового инструмента и оборудования во время спуско-подъемных операций, в зависимости от кривизны и профиля скважины, возможна наработка желобов независимо от того, устойчивые породы вскрыты или рыхлые. На рис. 2 показан фрагмент сечения одной из реальных скважин, полученный по данным акустической профилометрии.

Ниже приведены примеры применения профилометрии при моделировании дизайна МГРП.

На рис. 3 показан фрагмент скважины с достаточно стабильным по профилю и сечению стволом. Данные профилометрии помогли правильно расставить разобщающие пакера. Как видно из рисунка, при отсутствии данных профилометрии и установке портов «вслепую», положившись на однородность пласта аргиллитов, можно было легко «промахнуться», установив пакер всего на три метра ниже – в каверну (красная заливка на кривых профиля).

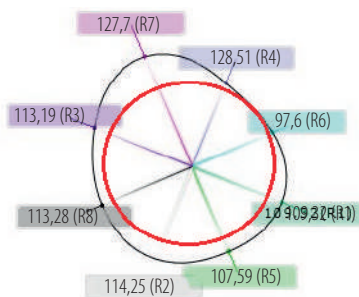


Рис. 2. Пример сечения скважины

Однако из многолетнего опыта проведения работ автономной аппаратурой, в том числе и акустической профилометрии, стволы с таким профилем встречаются нечасто.

На рис. 4 приведен пример фрагмента горизонтальной скважины с расстановкой портов и пакеров под МГРП. Как видно из рисунка, несмотря на то что по данным ГК вскрытый пласт практически однороден по литологии, по данным профилометрии видно, что ствол скважины подвержен сильной кавернозности, имеет винтовой желоб (вследствие спуско-подъемных операций (СПО) бурового инструмента и вращения компоновки). Красная заливка – это интервалы с критичным значением диаметра скважины (больше диаметра раскрытия пакера); как видно, подходящих интервалов для установки очень мало, и при моделировании дизайна «вслепую», без данных профилометрии, высок риск установки пакеров в каверну.

На рис. 5 приведен фрагмент горизонтальной скважины: две колонки в центре планшета, два дизайна портов ГРП. После бурения до проектного забоя заказчиком было решено сэкономить на времени и обойтись без заключительного каротажа, пожившись при моделировании дизайна портов ГРП на ограниченные данные телеметрии и данные ГТИ (колонка модели ГРП слева). Поскольку флот ГРП не смог вовремя мобилизоваться, во время ожидания было решено провести ГИС автономной аппаратурой. Дизайн портов ГРП справа – после проведения ГИС. Как видно на планшете, без проведения должного комплекса методов расстановка оборудования «вслепую» категорически неверна и неэффективна, поскольку пакеры 2 и 3 установлены в каверны, а порты – в плотные породы (неколлекторы).

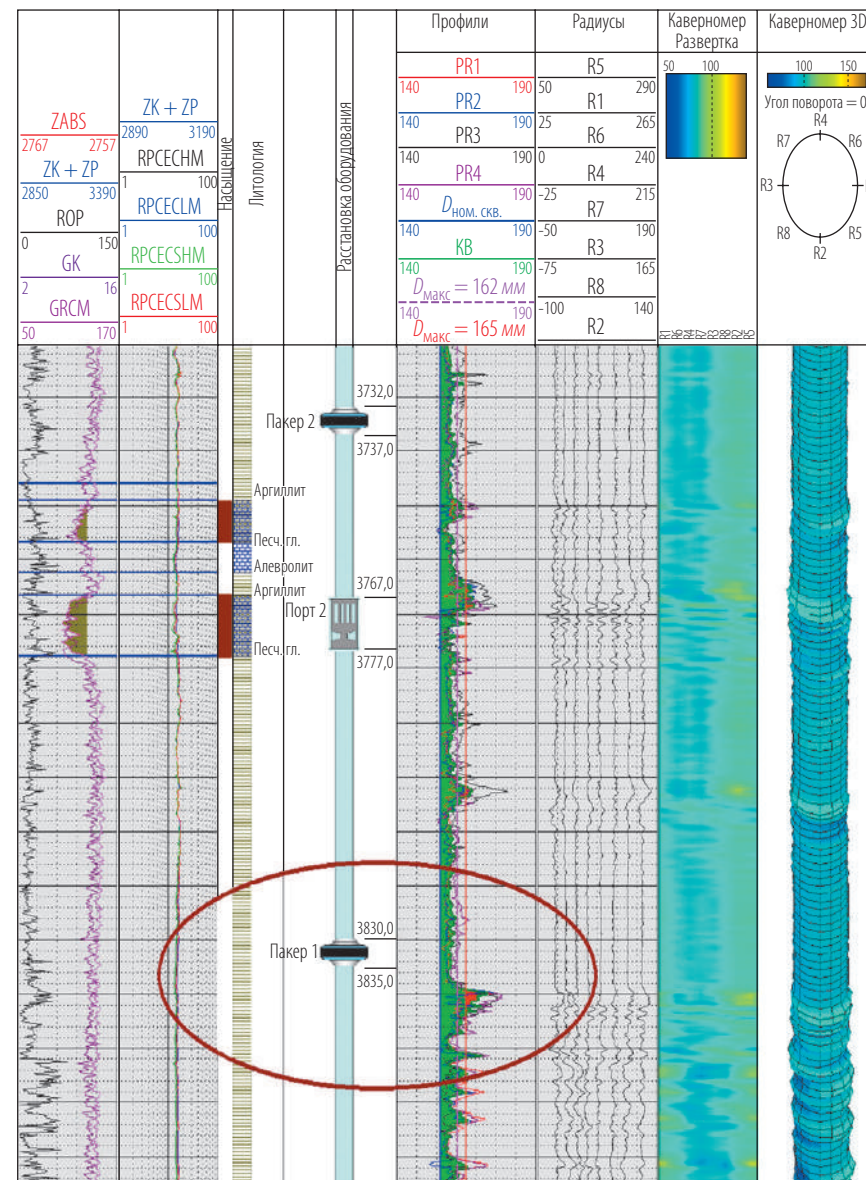


Рис. 3. Правильное расположение пакера в стволе скважины

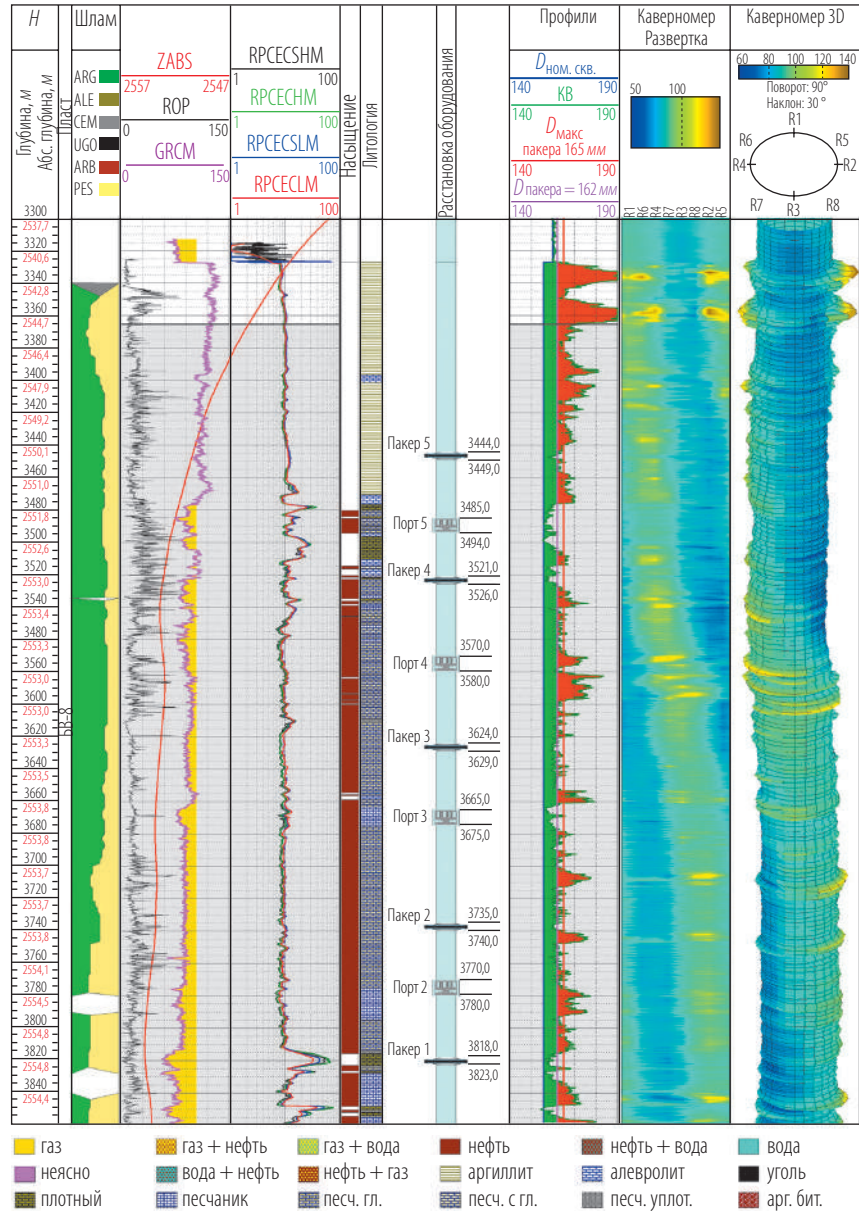


Рис. 4. Пример горизонтальной скважины с высокой кавернозностью

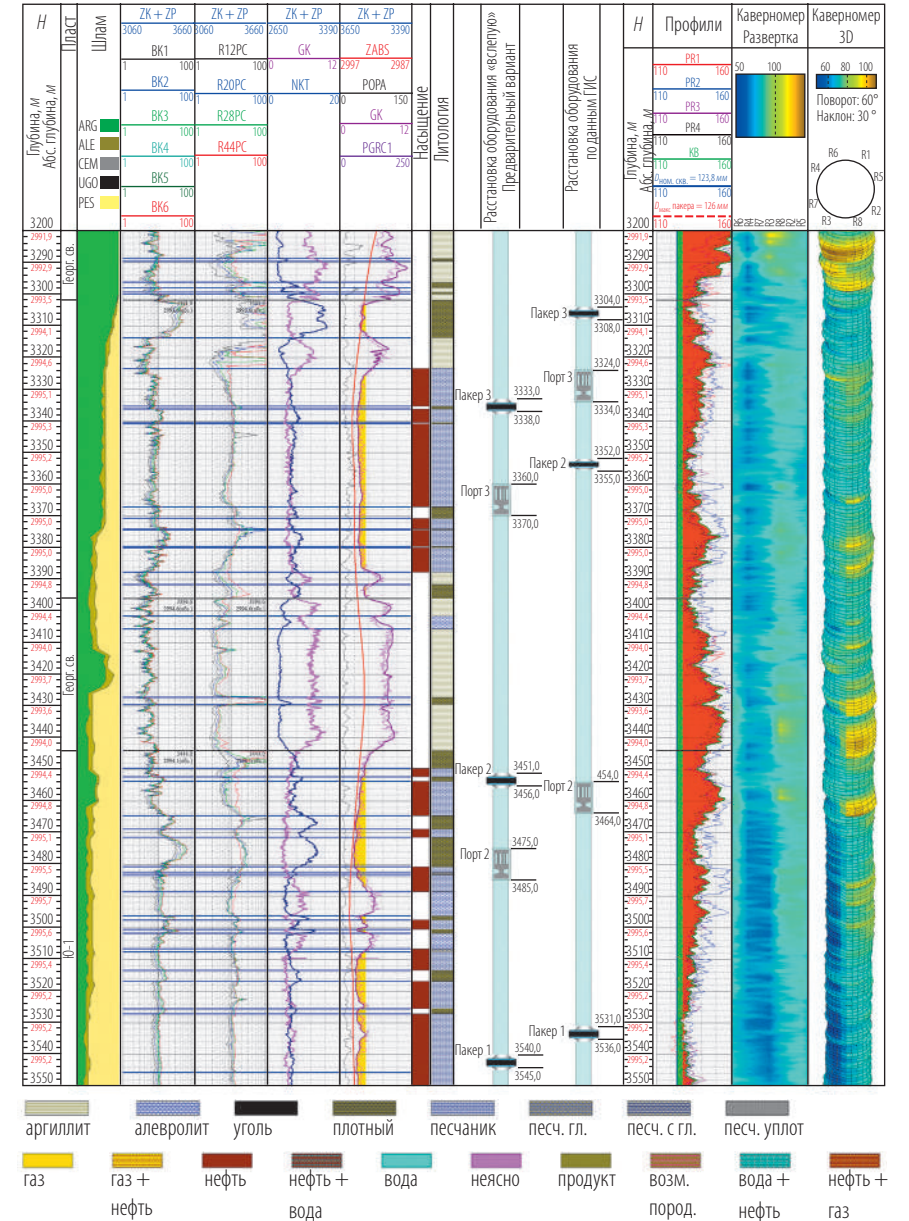


Рис. 5. Дизайн оборудования ГРП до и после проведения ГИС

Измерение диаметра и профиля сечения скважины при помощи каверномеров и профилемеров позволяет решать многие задачи прикладной геофизики. Результаты измерений диаметра и формы сечения ствола скважины используют при интерпретации каротажных диаграмм (РК, БК, БКЗ, ГПП и др.), уточнении литологической характеристики горных пород, интервалов сужения ствола или размыва стенок скважины, а также для определения величины и направления тектонических напряжений в массиве горных пород. Эти замеры позволяют определить благоприятные интервалы для установки различных пакеров, испытателей пластов, подсчитать объем затрубного пространства для определения количества цемента при тампонировании или цементировании колонн обсадных труб.

В 2018 г. на базе автономной аппаратуры, спускаемой на буровом инструменте, компания ООО НПФ «АМК ГОРИЗОНТ» закончила разработку аппаратуры акустической профилометрии скважин [3]. Данный тип прибора позволяет включать его в состав компоновки при бурении заключительной части скважины или проработке ствола под спуск оборудования для МГРП или хвостовика совместно с любыми типами забойных двигателей (турбобуров и т. д.). Аппаратура способна выдерживать нагрузки, возникающие при бурении скважины, имеет возможность сквозной промывки и может использоваться совместно с любыми типами телесистем и каналов связи.

На сегодняшний день разработаны три типоразмера аппаратуры акустической профилометрии (таб.).

Данный тип аппаратуры имеет 8 направленных акустических датчиков, расположенных по окружности прибора, что позволяет регистрировать 8 радиусов (рис. 6) с привязкой по визирному углу, а также имеет канал ГК и 2ННК-Т. Помимо этого, разработано методическое и программное обеспечение, позволяющее строить двухмерное и трехмерное графическое изображение ствола скважины.

Были успешно проведены опытно-промышленные работы (ОПР) на 5 скважинах ООО «РН-Юганскнефтегаз». Схема компоновки низа буровой колонны (КНБК), использованной при ОПР, приведена на рис. 7. В составе данной компоновки суммарно было пробурено около 5000 м открытого ствола. Запись производилась в память прибора после окончания бурения при подъеме КНБК. Информация считывалась с прибора на устье скважины и в течение двух часов предоставлялась заказчику. Результаты сопоставлялись с данными ГИС, полученными автономной аппаратурой, и показали хорошую сходимость.

Таблица

Технические характеристики акустических профилемеров, разработанных ООО НПФ «АМК ГОРИЗОНТ»

	ГОРИЗОНТ-108-АП	ГОРИЗОНТ-120-АП	ГОРИЗОНТ-172-АП
Диапазон измерений:			
– диаметра исследуемой скважины, мм	от 120,6 до 216,0	от 120,6 до 216,0	от 190,5 до 292,0
– визирного угла, град	от 0 до 360	от 0 до 360	от 0 до 360
Пределы допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерений:			
– диаметра скважины, мм	±1,0	±1,0	±1,0
– визирного угла, град	±2,0	±2,0	±2,0
Продолжительность работы скважинного прибора в режиме измерений, ч, не менее	280	280	280
Измерение профиля скважины	8 образующих	8 образующих	8 образующих
Длительность задержки включения измерительной схемы, ч	от 0 до 336	от 0 до 336	от 0 до 336
Габаритные размеры, мм:			
– наружный диаметр	108	120	172
– длина	1560±50	1560±50	1987±50
Диаметр исследуемой скважины, мм, не менее	120,6	138,0	190,5
Температура окружающей среды, °С	до 125	до 125	до 125
Плотность раствора, кг/м³, не более	1,6	1,6	1,6
Осевая сжимающая и растягивающая нагрузка, кН, не более	300	500	1000
Максимальный крутящий момент, кН*м	7,4	9,0	20
Расход бурового раствора, л/мин, не более	20	22	40
Максимальное гидростатическое давление, МПа	60	60	60
Максимальная интенсивность кривизны, скольжение/вращение, град/10 м	6/4	5/3	3,5/2
Максимальные обороты ротора при бурении с вращением, об/мин	60	60	60
Предельное допускаемое ускорение вибрации, м/с²	200 (~20 g)	200 (~20 g)	200 (~20 g)
Радиус искривления скважины, скольжение/вращение, м, не менее	95/145	115/190	163/286

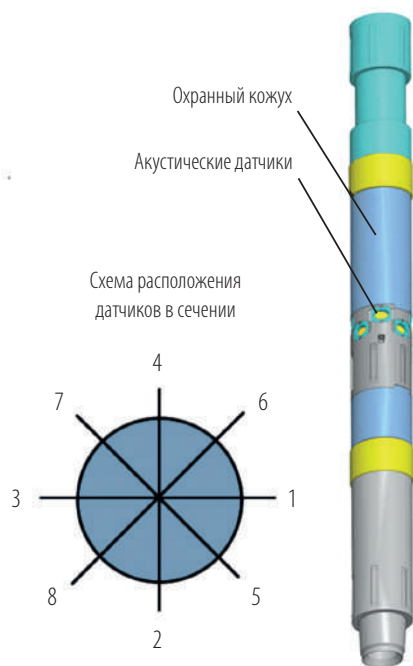


Рис. 6. Схема расположения датчиков



Рис. 7. Схема КНБК при опытно-промышленных работах

С 2020 г. в рамках коммерческих работ акустическая профилометрия в компоновке с КНБК при бурении используется в ООО «Газпромнефть-Оренбург» на Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении. Проведено более 80 исследований, суммарно пробурено более 60 000 м открытого ствола скважин. Помимо этого,

ведутся работы на объектах ПАО «Татнефть» и на месторождениях Западной Сибири. Данные профилометрии используются при моделировании дизайна компоновки МГРП.

Выводы

Проведение такой сложной и высокоинтеллектуальной технологии, как многостадийный гидроразрыв пластов в горизонтальных скважинах, должно основываться на экономической рентабельности. Затраты на технологию должны перекрываться многократным увеличением дебитов скважин. Однако существует множество рисков, когда МГРП становится неэффективным. Один из них – неправильная установка разобщающих пакеров.

Разработана и внедрена аппаратура акустической профилометрии скважины, позволяющая включать комплекс в компоновку при бурении и проработке скважины и таким образом экономить время на дополнительных спуско-подъемных операциях. Данные профилометрии позволяют исключить неверную расстановку пакеров и необходимы при моделировании дизайнов портов для МГРП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В. А., Верисокин А. Е. Гидроразрыв пласта в горизонтальных скважинах // Геология. Нефтегазовое и горное дело. Вестник ПНИПУ. 2013. № 6.
2. Говзич А. Н., Билинчук А. В., Файзуллин И. Г. Опыт проведения многостадийных ГРП в горизонтальных скважинах ОАО «Газпром нефть» // Нефтяное хозяйство. 2012. № 12. С. 59–61.
3. Леготин Л. Г., Рафиков В. Г., Крюков Д. В. и др. Акустический профиломер для геофизических исследований горизонтальных скважин // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2014. Вып. 3 (237). С. 106–116.

Рецензент доктор геол.-минер. наук, проф. Ю. И. Кузнецов