



## ThruBit

Геофизические исследования  
скважин через долото

**Schlumberger**

# Область применения, преимущества, особенности модульной сборки ThruBit

## Область применения

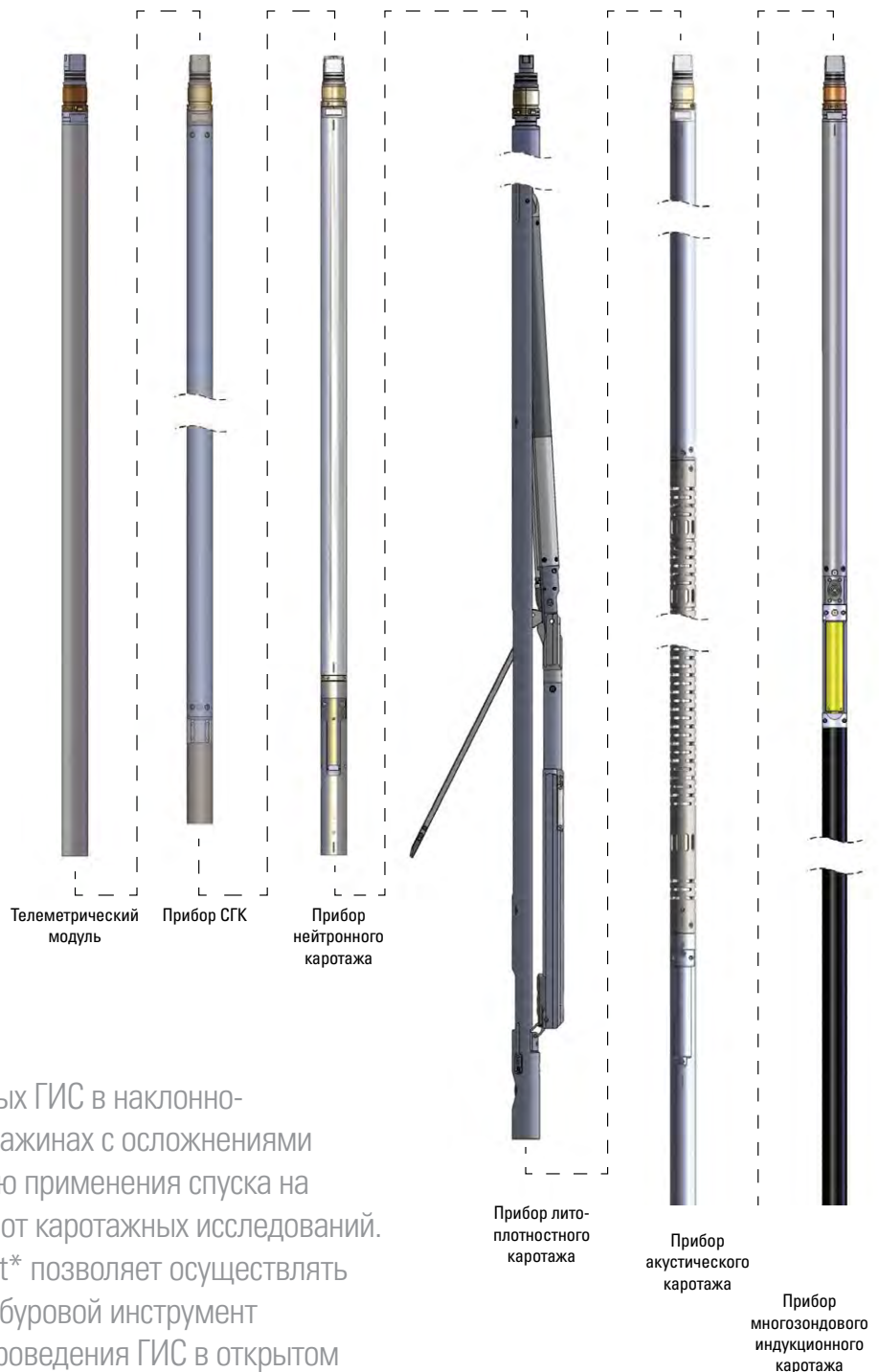
- Каротаж в открытом стволе скважин:
  - горизонтальных и наклонно-направленных;
  - с трудноизвлекаемыми запасами;
  - с неустойчивым стволом;
  - с осложнениями (обвалы, овализация, быстрый набор угла);
- Оптимизация заканчивания скважины.

## Преимущества

- Сокращение времени на проведение ГИС
- Исключение вероятности прихвата геофизической аппаратуры и полный контроль за скважиной в процессе ГИС
- Более эффективный способ организации работ по сравнению с ГИС во время бурения или ГИС на буровом инструменте.

## Особенности

- Эффективная работа, соответствующая отраслевым стандартам, или выше отраслевых стандартов для исследований зондами малого диаметра.
- Стандартная модульная сборка включает приборы: спектрального ГК, многозондового индукционного каротажа, кросс-дипольного акустического каротажа, ННК-т и ГК-лп
- Защита модульной сборки и контроль за стволом скважины обеспечивается наличием в скважине бурового инструмента
- Доступен как стандартный каротаж на кабеле так и в режиме записи данных в память прибора (без кабеля)
- Возможность проведения циркуляции бурового раствора и полный контроль за скважиной



Теперь возможности регистрации данных ГИС в наклонно-направленных, горизонтальных или скважинах с осложнениями уже не ограничиваются необходимостью применения спуска на бурильных трубах или полным отказом от каротажных исследований. Система каротажа через долото ThruBit\* позволяет осуществлять спуск/подъем модульной сборки через буровой инструмент и "портальное" долото Portal bit\* для проведения ГИС в открытом стволе на кабеле или при подъеме бурового инструмента из скважины.

# Комплексы ГИС с приборами малого диаметра

ГИС через долото ThruBit предусматривает полный комплекс скважинных измерений на кабеле с трех (Triple-combo) или четырехмодульной (Quad-combo) сборкой малого диаметра.

Ее уникальная платформа для спуска/подъема модульной сборки позволяет регистрировать геофизические данные в скважинах

с осложнениями, включая скважины с большими отходами от вертикали, в которых приборы проталкиваются через бурильные трубы раствором под давлением. При диаметре всего лишь 54 мм модульная сборка может свободно проходить через большинство буровых труб и отверстие в долоте Portal

Измерения могут осуществляться, как отдельными модулями, так и в виде трех- или четырехмодульной сборки:

- **Телеметрический блок, блок памяти и зонд для гамма-каротажа** Обеспечивает функции связи и памяти всей модульной сборки. Детектор гамма-излучения позволяет проводить измерение естественного гамма излучения в пласте, используемого для геологической корреляции разрезов скважин, а также - для оценки объемной глинистости пород. Многоосный акселерометр в этом приборе отслеживает пространственное положение зонда в стволе, его передвижение и вибрацию. С его помощью можно измерить угол наклона скважины.
- **Прибор многозондового индукционного каротажа** Работает на пяти радиусах исследований и в трех вертикальных разрезах. В состав прибора индукционного каротажа входит датчик сопротивления бурового раствора, для оценки УЭС бурового раствора и ввода поправок в данные ГИС.
- **Прибор нейтронного каротажа** Измерения проводятся, как в открытых, так и в обсаженных стволах. В нем используется калифорниевый источник нейтронов для измерений пористости по тепловым нейтронам. Кроме поправки на температуру и давление в стволе, в измерения пористости методом нейтронного каротажа могут вноситься поправки на внешние факторы, такие как диаметр ствола, плотность бурового раствора, минерализация бурового раствора и пластовой воды, а также отклонение прибора от стенки ствола.
- **Зонд плотностного каротажа** Производятся измерения объемной плотности пласта, индекса фотоэлектрического поглощения (ГГКс) и диаметра ствола. Предварительная обработка результатов измерений предусматривает корректирующий алгоритм, который сохраняет точность общего значения плотности в широких диапазонах диаметров стволов, типов буровых

растворов и их плотностей. Сцинтилляционные детекторы прибора расположены в прижимном башмаке с целью улучшения контакта с пластом, за счет чего поддерживается высокое качество измерений в наклонных скважинах и стволах с осложнениями. Зонд оборудован однорычажным каверномером для прижатия его к стенке во время измерений диаметра скважины.

- **Зонд акустического каротажа** Оборудован монополюсным излучателем, набором из шести приемников, каждый из которых регистрирует данные волновых картин для последующей обработки методом когерентности интервального времени с целью расчета скоростей продольных и поперечных волн. Скорость поперечной волны из монополюсного излучателя определяется по акустическим измерениям в пластах, где скорости продольных и поперечных волн выше, чем скорость акустической волны в буровом растворе.
- **Прибор спектрального гамма-каротажа** Позволяет изучать минералогический состав пластов. Измеренный полный гамма-спектр разделяется на три наиболее распространенные составляющие естественного излучения в песчаных и глинистых породах - калий, торий и уран (K, Th и U). При помощи полученных таким образом данных можно выделить важные особенности глин или песчаников, а также определить общее содержание

органического углерода. Это позволяет определить преобладающий тип глинистого минерала и определить причины повышенной радиоактивности песчаников



Благодаря кабельному соединению, инженер-геофизик контролирует работоспособность скважинной аппаратуры во время спуска и до момента перехода в режим записи данных в память, также производится запись во время спуска.

# Оборудование системы ThruBit

## Долото Portal типа PDC

Конструкция долота Portal типа PDC позволяет проходить модульной сборке малого диаметра системы ThruBit на кабеле через центральное отверстие внизу долота буровой колонны диаметром 2 ½ дюйма. Конструкция долота адаптируема практически ко всем моделям типа PDC от 5 7/8-дюймовых до 12 ¼-дюймовых моделей.

## Устройство удержания модульной сборки на буровом инструменте

В компоновке бурового инструмента над долотом Portal помещается переводник, который позволяет осуществлять точное позиционирование модульной сборки по мере спуска через отверстие в долоте. Переводник ограничивает движение стопорного кольца, установленного в начале модульной сборки, и не позволяет ей сдвинуться ниже по стволу сразу после позиционирования сборки в открытом стволе скважины.

## Спусковое устройство

При необходимости проведения каротажа в режиме записи данных в память, спуск модульной сборки в скважину производится на кабеле. После чего, модульная сборка размещается на подвеске, далее происходит

отсоединение спускового устройства от модульной сборки, а затем – извлечение кабеля.

## Устьевое оборудование

Устьевое оборудование ThruBit для контроля давления позволяет бурильщику вращать буровую колонну и прокачивать буровой раствор во время спуска модульной сборки. В состав КНБК при необходимости может включаться обратный клапан, который обеспечивает дополнительный уровень контроля скважины. Этот обратный клапан с откидным щитком способен пропускать каротажные приборы и вспомогательное оборудование в оба направления.

## Эксплуатационная гибкость: режим записи данных в память при спуске на буровом инструменте или запись на кабеле

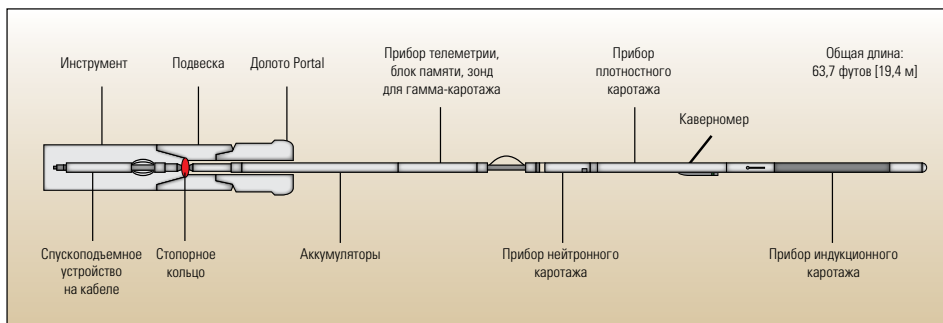
В тех случаях, когда традиционные способы каротажа на кабеле являются нецелесообразными или неосуществимыми в вертикальных или горизонтальных скважинах, система ThruBit предусматривает уникальную гибкость в проведении исследований, снижая при этом риск и обеспечивая получение высококачественных данных. Благодаря этому проведение ГИС становится возможным во всех

интервалах скважины, куда может быть доставлено долото Portal. Перед проведением каротажа с помощью долота Portal возможно расширить и подготовить скважину к последующим операциям. После этого производится спуск модульной компоновки на кабеле через буровой инструмент. После того, как модульная сборка достигнет конца буровой колонны она помещается на подвеску таким образом, чтобы обеспечить проход приборов через долото Portal и выход их в открытый ствол под долотом. Затем кабель отсоединяется и извлекается, а модульная сборка производит каротаж в режиме записи данных в память по мере подъема бурового инструмента из скважины.

В тех скважинах, где спуск модульной сборки под действием собственной массы невозможен, сборка проталкивается раствором под давлением до конца бурового инструмента и устанавливается для проведения каротажа в режиме записи данных в память во время подъема инструмента. В горизонтальных или вертикальных скважинах извлечение модульной сборки возможно до того, как буровой инструмент будет полностью поднят на поверхность. Наличие бурового инструмента в скважине может ускорить реализацию работ по заканчиванию.

Бурильщик сохраняет полный контроль за буровым инструментом на всех этапах, во время спуска/подготовки или проведения ГИС. При необходимости проводятся промывки и вращение бурильного инструмента.

При прихвате бурового инструмента модульную сборку можно без труда извлечь на поверхность, чтобы избежать ее повреждения при освобождении бурового инструмента.



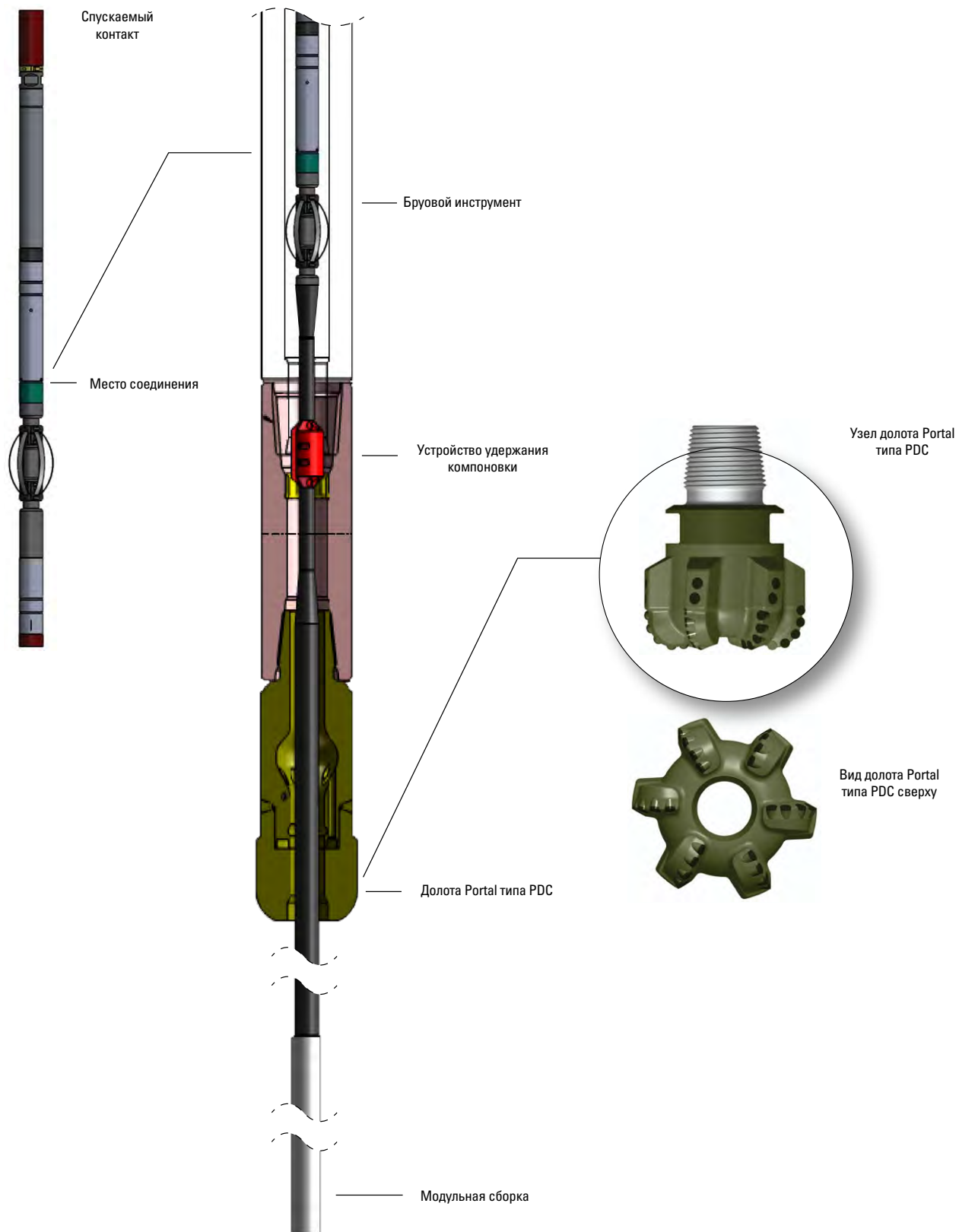
С помощью блока подвески, аккумулятора и подъемного устройства (вставки) возможно проведение ГИС в режиме записи данных в память во время подъема бурового инструмента из скважины. Приборы ГИС могут быть в любой момент извлечены.

«Благодаря технологии ThruBit мы смогли применять буровые растворы на водной основе без ущерба для информативности исследований скважин.»

## Гомер Адамс

Директор по бурению, техническому обеспечению и эксплуатации компании Swift Energy

# Спускоподъемное оборудование



Спусковое устройство используется для отсоединения кабеля от модульной сборки, размещенной на подвеске. После этого кабель можно извлечь из скважины перед проведением ГИС в режиме записи данных в память во время подъема бурового инструмента

# Каротаж в условиях, не позволяющих спуск геофизической аппаратуры под действием собственной массы

В тех случаях, когда спуск модульной сборки ThruBit на кабеле невозможен в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах, для прокачки модульной сборки до конца бурового инструмента, применяются штатные буровые насосы, имеющиеся на буровой установке. В стволах с неудовлетворительным качеством или неустойчивыми стенками, благодаря гладкому стволу, обеспеченному бурильной трубой, спуск прибора внутри бурового инструмента обеспечивает безаварийную доставку компоновки геофизических приборов в интервал исследований. Давление бурового раствора выталкивает модульную сборку наружу через отверстие в долоте Portal. Сборка фиксируется, когда стопорное устройство у верхнего конца сборки попадает в переводник.

Затем производится проверка исправности компоновки каротажных приборов и открывается каверномер прибора плотностного каротажа. Акселерометр с тремя измерительными осями внутри прибора обеспечивает оценку положения его башмака по отношению к нижней части скважины. После проверки правильности размещения и эксплуатационной пригодности приборов производится отсоединение кабеля и

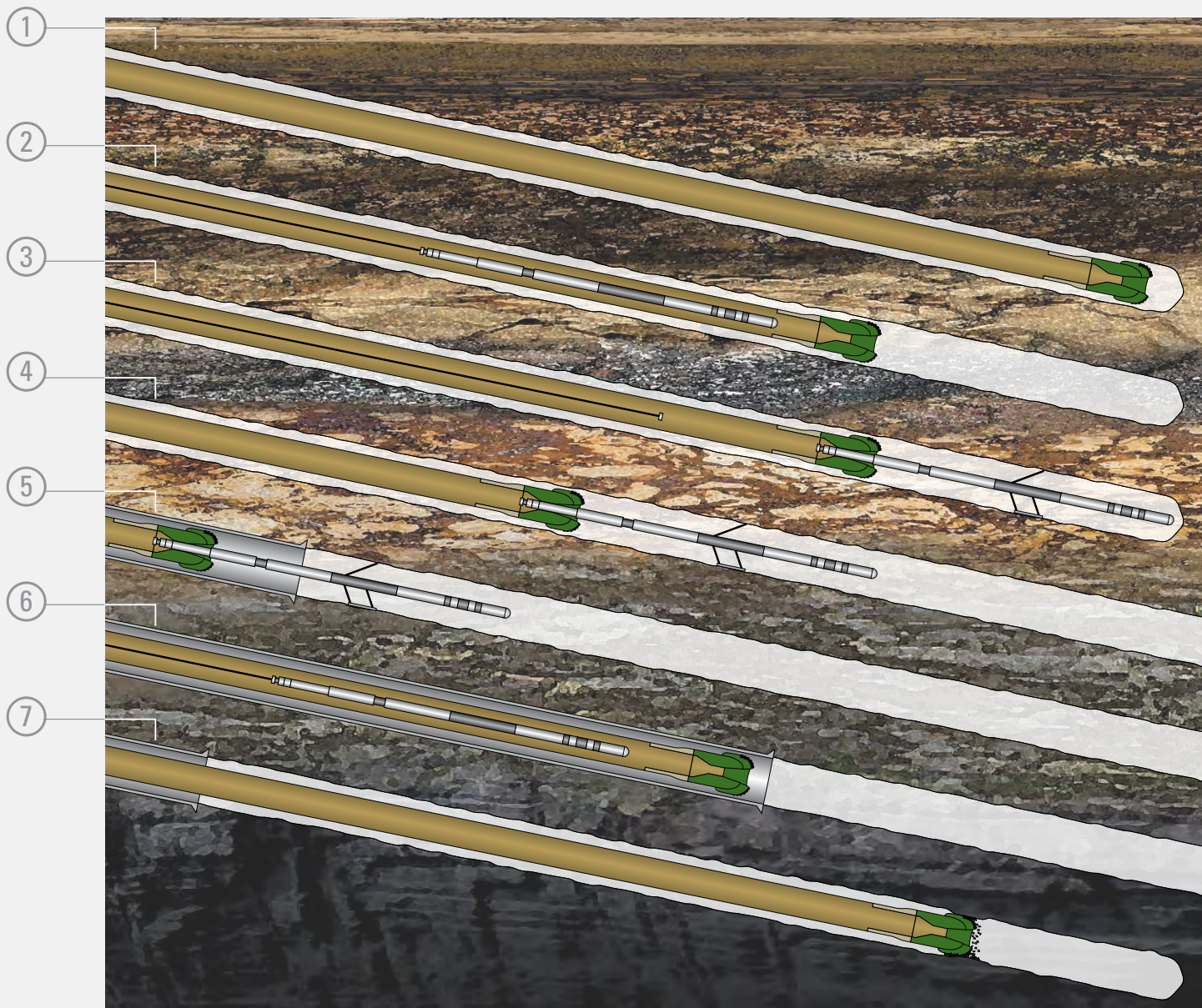
верхней части спуско-подъемного устройства от компоновки приборов, их подъем на поверхность и демонтаж из буровой колонны.

При этом на верхнем конце каротажных приборов остается сцепное устройство, позволяющее при необходимости легко извлечь приборы и радиоактивные источники в их составе, без необходимости спуска/подъема буровой трубы. При отсоединении кабеля каротажные приборы ThruBit переходят в режим записи данных в память и обеспечивают регистрацию данных ГИС во время их подъема на буровой трубе из скважины. При необходимости проведения каротажных исследований только в определенных интервалах, для извлечения компоновки приборов на поверхность применяется подъемное устройство, спускаемое на кабеле. Благодаря опережающему извлечению модульной сборки удается сэкономить время, поскольку проверку данных из памяти можно проводить, не останавливая буровые работы, или во время подъема бурового инструмента из скважины.

«Данные ГИС, получаемые с помощью четырехмодульной сборки ThruBit, стали неотъемлемой частью в планировании и оптимизации работы скважин на месторождении Игл Форд, эксплуатируемых нашей компанией. Благодаря этим исследованиям у нас появились данные необходимые для внесения кардинальных изменений в планы бурения скважин. Полученные нами данные отличались очень высоким качеством, а инженеры, операторы и оборудование компании ThruBit с операционной точки зрения входят в число лучших из тех, с кем мне приходилось сотрудничать. Система ThruBit проделала фантастическую работу. Мы однозначно будем рассматривать специалистов ThruBit в качестве основных претендентов на выполнение в будущем работ подобного характера.»

**Гэри Симпсон**

Старший консультант-петрофизик,  
компания Forest Oil Corporation



### Последовательность каротажных операций комплекса ThruBit

- ① Производится проработка ствола скважины с применением долота PDC.
- ② Буровой инструмент опускают на глубину достаточную, чтобы модульная сборка вышла в открытый ствол скважины.
- ③ Модульная сборка проходит через отверстие в долоте PDC, в открытый ствол и закрепляется в специальном переводнике, осуществляется проверка работоспособности, а затем отсоединение кабеля и извлечение его из бурового инструмента.
- ④ Каротаж в режиме записи данных в память проводится во время подъема бурового инструмента.
- ⑤ По завершении ГИС производится подъём бурового инструмента в техническую колонну.
- ⑥ На кабеле спускается подъемное устройство, которое захватывает модульную сборку и поднимает ее на поверхность.
- ⑦ После извлечения модульной сборки из бурового инструмента можно возобновить выполнение буровых работ или других операций и одновременно начать использование полученных данных ГИС.

## Анализ практических примеров применения

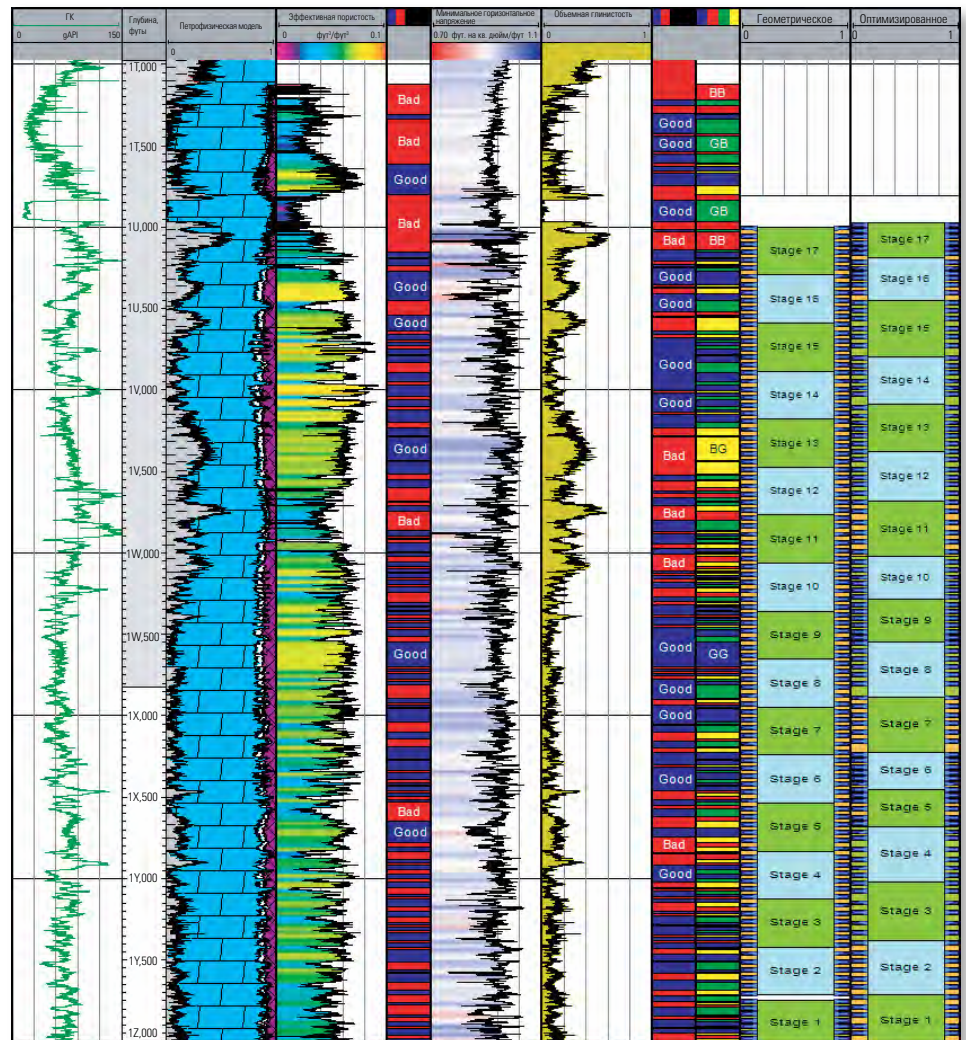
### Применение комплекса ГИС системы ThruBit для проектирования способа заканчивания скважины



В горизонтальной скважине месторождения Игл-Форд в южном Техасе (США) система ThruBit применялась для каротажа с записью данных в память, с прокачкой приборов раствором. Данные, полученные с помощью трехмодульной сборки использовались, чтобы улучшить эффективность расчета напряжения пород вдоль горизонтальной части ствола, данные из соседней вертикальной скважины объединялись с результатами измерений акустического и плотностного каротажей системы ThruBit. Результаты учитывались при планировании заканчивания скважины, в которой интервалы, обладающие подходящими механическими свойствами для вторичного вскрытия, группировались инженером-консультантом по заканчиванию в конструкционную схему, построенную с помощью программы Mangrove\* на платформе Petrel\* для выработки специальной методики заканчивания. После этого в указанной скважине проводилась

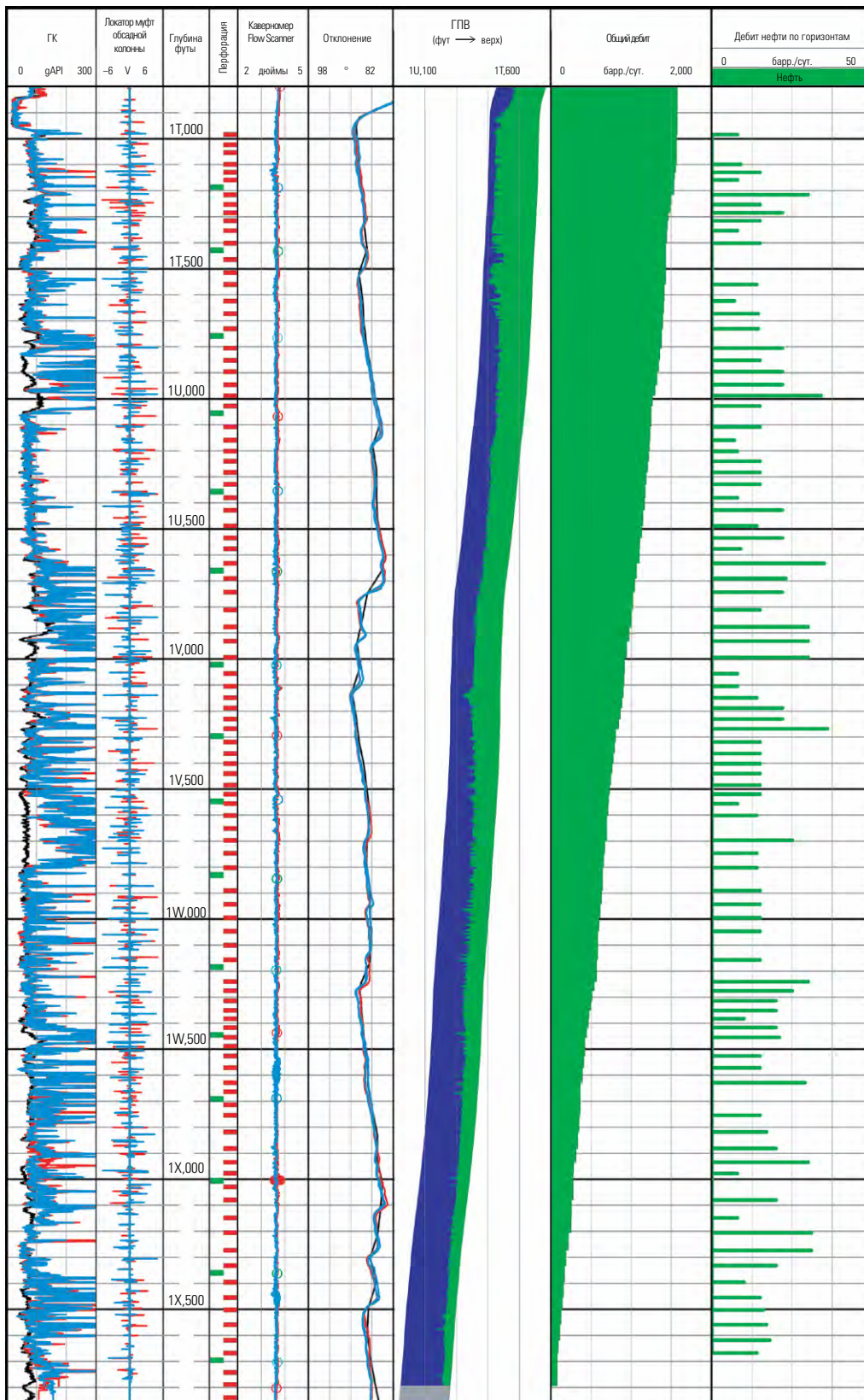
интенсификация притока по разработанной методике заканчивания, отработка до очистки забоя и последующий каротаж с помощью геофизической аппаратуры для горизонтальных и наклонно-направленных эксплуатационных и нагнетательных скважин Flow Scanner\*, спускаемой на скважинной канатно-кабельной тяговой системе MaxTRAC\*.

Анализ данных промыслово-геофизических исследований, полученных с помощью системы Flow Scanner, говорит о том, что из 89% перфорированных интервалов ведется добыча нефти, что существенно улучшило ориентировочные средние показатели, принятые по большинству геометрически расположенных освоенных скважин месторождения Игл Форд. Добыча скважины на момент ПГИ составила свыше 1000 баррелей нефти в сутки.



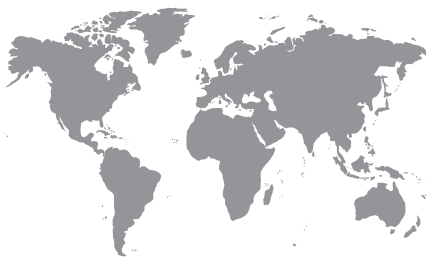
Точный петрофизический анализ на основе данных, полученных трёхмодульной сборкой ThruBit, обеспечил выжними данными для разработки эффективного освоения скважины.





Данные Flow Scanner подтвердили эффективность программы заканчивания, при которой из 89% перфорационных кластеров (выделены красным на треке «Перфорация») осуществлялась добыча нефти

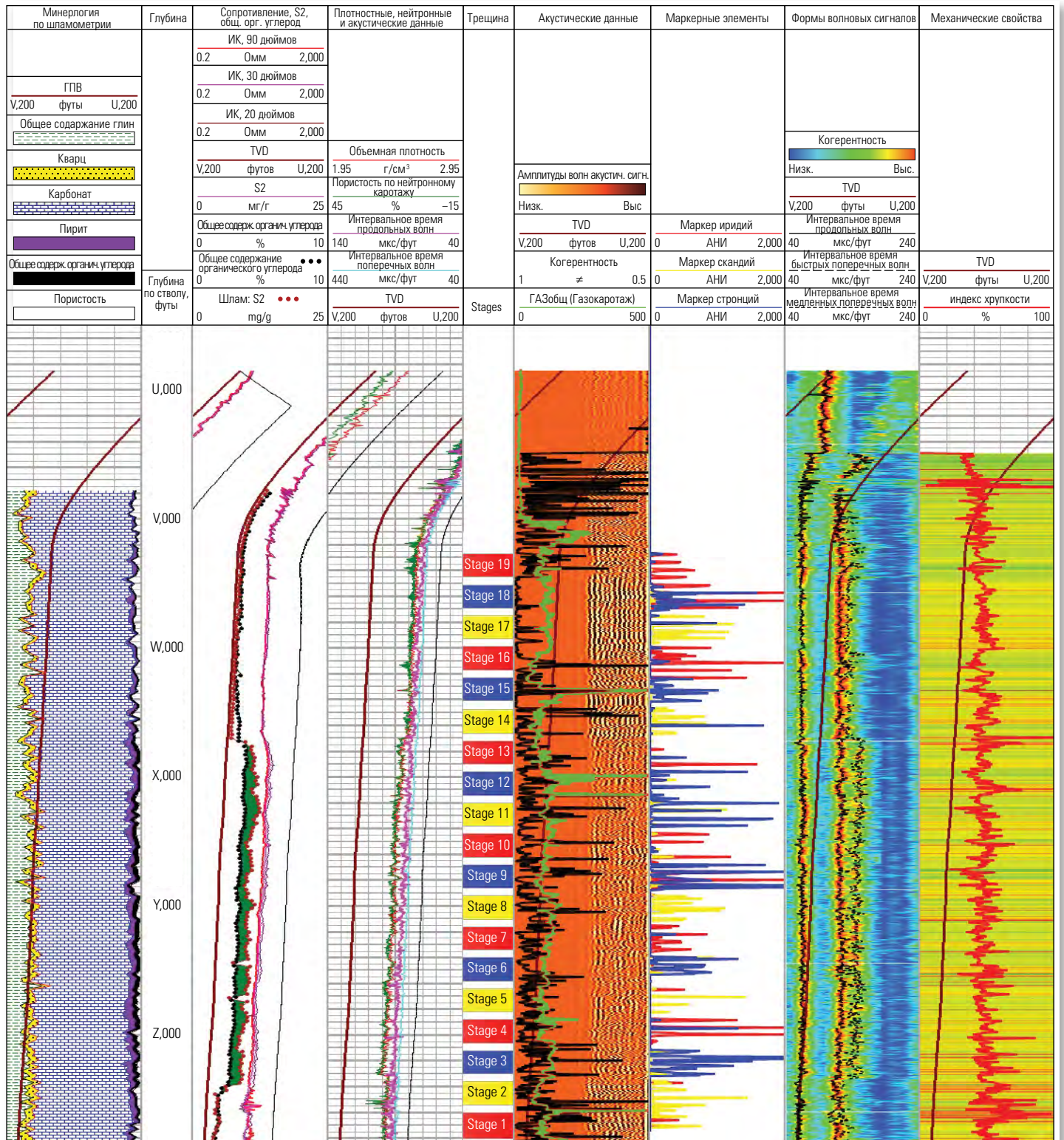
### Уточнение модели гидроразрыва пласта на основании данных каротажа ThruBit с целью минимизации обводнения скважин на месторождении Игл-Форд



Компанией Forest Oil был пробурен и освоен ряд скважин на продуктивный комплекс отложений Игл-Форд в южном Техасе. Бурение этих скважин производилось с использованием каротажа во время бурения без дополнительных исследований. При последующем анализе выяснилось, что хотя скважины бурились и заканчивались аналогичным методом, при введении в эксплуатацию они давали совершенно разные дебиты. Продукция некоторых скважин содержала значительные объемы воды с высокой минерализацией, что свидетельствует о том, что трещины гидроразрыва распространились ниже комплекса Игл-Форд, образовав таким образом пути для перетока воды из нижележащих горизонтов. Для оптимизации целевого участка и повышения эффективности размещения оборудования гидроразрыва при одновременном снижении затрат на интенсификацию притока и заканчивание скважин, требовались дополнительные данные ГИС. При этом у компании Forest Oil имелись опасения относительно безаварийности проведения комплексов ГИС, спускаемых на кабеле или на бурильном инструменте. Для получения данных ГИС из следующей горизонтальной скважины был выбран комплекс ГИС через долото ThruBit. По завершении подготовки ствола производился подъем КНБК, и затем спуск его на забой с уже установленным на подвеске долотом Portal. После этого была произведена запись четырехмодульной сборкой. По достижении башмака обсадной колонны и извлечении компоновки каротажных приборов на кабеле, буровая бригада получила возможность воспользоваться долотом Portal, чтобы выполнить еще один подготовительный рейс до проектной глубины, пока производилась обработка и интерпретация данных ГИС. Объединив спуск каротажных приборов с подготовительными операциями в один рейс, компании Forest Oil удалось сэкономить более 24 часов эксплуатационного времени буровой установки по сравнению со временем необходимым при традиционных методах спуска приборов на трубах.

Данные акустического и плотностного каротажа использовались петрофизиками Forest Oil для определения свойств пород и детального изучения естественной трещиноватости, что позволило уточнить положения новых объектов разведки, обнаруженных по данным трехмерной сейсморазведки. Полученные по данным ГИС механические свойства горных пород по разрезу позволили выполнить оптимальное планирование интервалов гидроразрыва для предупреждения распространения трещин за пределы продуктивного пласта. Благодаря эффективной группировке интервалов, компании удалось снизить затраты на интенсификацию притока за счет сокращения на треть объемов закачки пропанта на каждом интервале при одновременном удваивании объема добычи нефти по сравнению с предыдущими скважинами.

## Пример использования данных полученных модульной сборкой ThruBit для оптимального проектирования интервалов ГРП



Оценка коллекторских свойств пласта Игл-Форд базируется на результатах комплексной интерпретации данных компоновки ThruBit, анализа данных газокаротажа и шламметрии, что способствует оптимальному проектированию интервалов гидроразрыва в скважине на юге Техаса. Хотя газовые пики наблюдаются на всем протяжении исследуемой толщи (см. дорожка 5, зеленый цвет), наиболее перспективный участок в этой горизонтальной скважине расположен приблизительно между отметками W/700 и 2400 футов глубины по стволу. Проведенный геохимический анализ шлама, полученного из этого участка, говорит о явном увеличении общего содержания органического углерода и S2 углеводородов, образовавшихся при термическом разложении керогена (см. дорожка 2), что является ключевым показателем качества материнской породы. Различие между интервальными временами быстрой и медленной поперечных волн является показателем анизотропии, возможно связанной с трещиноватостью (см. дорожка 7). На дорожке 6 диаграммы маркерных элементов, полученные после интенсификации притока, показывают, что программа интенсификации, разработанная на основе результатов обработки данных ГИС, привела к образованию сложных систем трещин ГРП на каждой ступени и расширила дренируемую площадь пласта.

Экономия 24 часов и 40 000 долларов США на скважину при проведении каротажа с использованием комплекса ThruBit и внутрискважинного трактора UltraTRAC

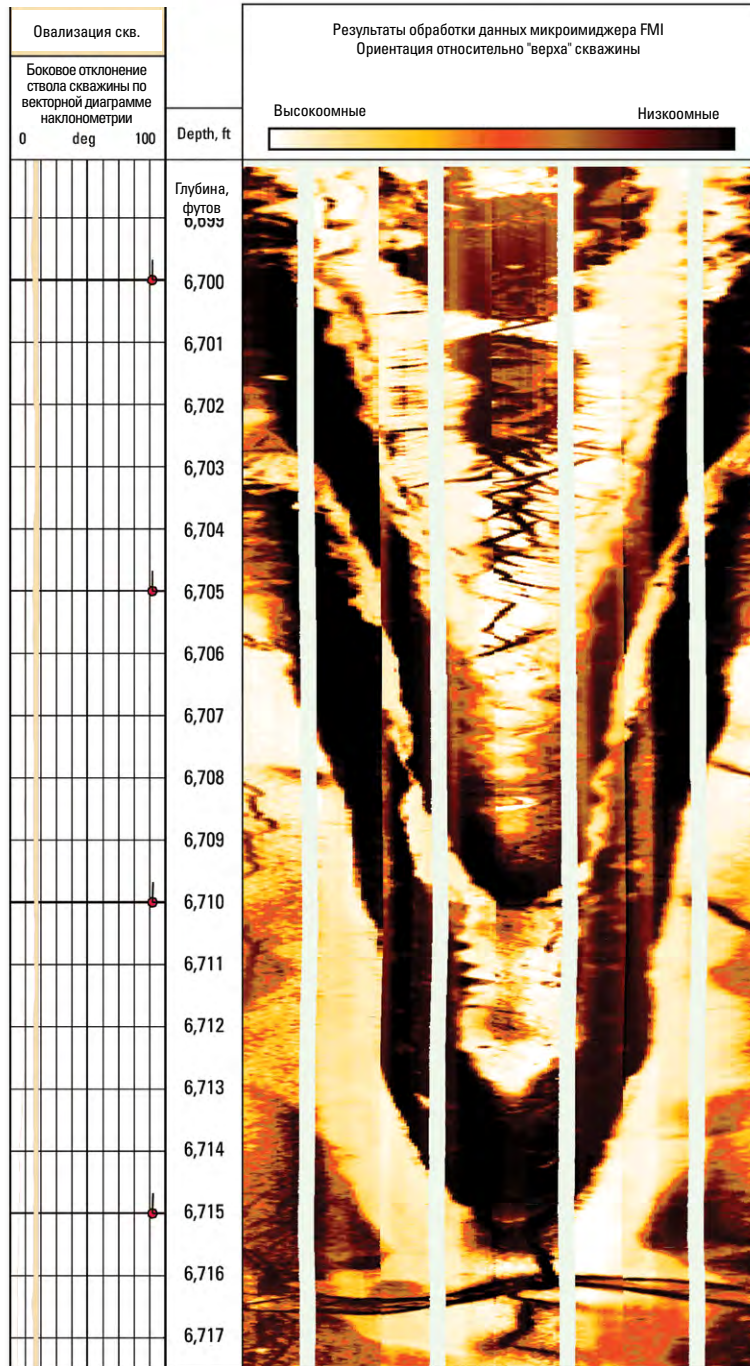


Каверномер 1	
4 дюйма	14
Каверномер 2	
4 дюйма	14
ГК	
0 gAPI	200
ГК	
200 gAPI	400

При переходе от этапа поисков к этапу разведки недропользователю, который реализовывал программу горизонтального бурения на продуктивный карбонатный пласт Миссисипской системы, потребовалось улучшить эффективность программы ГИС без дополнительных рисков. Каротаж при применении традиционного спускоподъемного оборудования занимает более 48 часов эксплуатационного времени буровой установки на спуск четырехмодульной сборки, что приводит к серьезным затратам.

Внутрискважинный трактор UltraTRAC высокой проходимости обладает низкой чувствительностью к скважинным условиям и может осуществлять спуск/подъем сборок геофизических приборов со скоростью до 2700 футов в час. Скважинный трактор UltraTRAC способен прикладывать максимально возможное генерируемое усилие для обеспечения надежной транспортировки сборок приборов даже в сложных скважинных условиях. Благодаря активной регулировке тягового усилия и функции обратной тяги комплекс обладает улучшенной маневренностью и минимальной пробуксовкой. Вдобавок к ускоренной регистрации данных, комплекс дает возможность более оперативного принятия решений, поскольку приборы, спускаемые скважинным трактором, обеспечивают более актуальные данные, чем при каротаже с записью данных в память при спуске/подъеме на буровой трубе. За счет более оперативного способа доставки с использованием скважинного трактора UltraTRAC, а также благодаря значительному сокращению эксплуатационного времени буровой установки, удается улучшить показатели безопасности.

Четырехприборная компоновка комплекса ThruBit сначала спускалась в горизонтальные участки трех скважин на глубину 3500 футов для регистрации данных плотностного, нейтронного, акустического каротажа и электрометрии. Чтобы повысить информативность комплекса ThruBit, после этого проводилась регистрация данных высокоразрешающего пластового микроимджера FMI\* по всему стволу для оценки коллекторских свойств скважины, определения литологического строения и оценки механических свойств. Микроимджер FMI спускался трактором UltraTRAC через обсадную колонну диаметром 7 дюймов в открытый ствол диам. 8 3/4 и 6 1/2 дюймов. Общая продолжительность рейсов геофизической аппаратуры комплекса ThruBit составила всего 24 часа, при этом половина указанного времени была затрачена на спуск/подъем бурового инструмента. Благодаря этому, недропользователю удалось сэкономить 40 000 долларов США, эксплуатационных затрат БУ.



Результаты обработки данных микроимджера FMI, полученных с применением скважинного трактора UltraTRAC, позволили выполнить детальный анализ структурного строения залежи и оценку естественной трещиноватости пород по разрезу.

## Анализ практических примеров применения

Применение четырехмодульной сборки системы ThruBit позволило успешно спланировать программу интенсификации скважин, впоследствии вошедших в первую десятку по дебиту



Недропользователю, занимающемуся разработкой залежей в известняковых породах Миссисипской системы потребовалось провести ГИС в округе Барбер, штат Канзас, для оптимизации программы перфорации и выбора интервалов гидроразрыва пласта. Литологическое строение пласта характеризовалось сильной изменчивостью и включало известняковые, доломитовые и кремнистые отложения. По этой причине применение только лишь гамма каротажа в процессе бурения не дало бы хороших результатов.

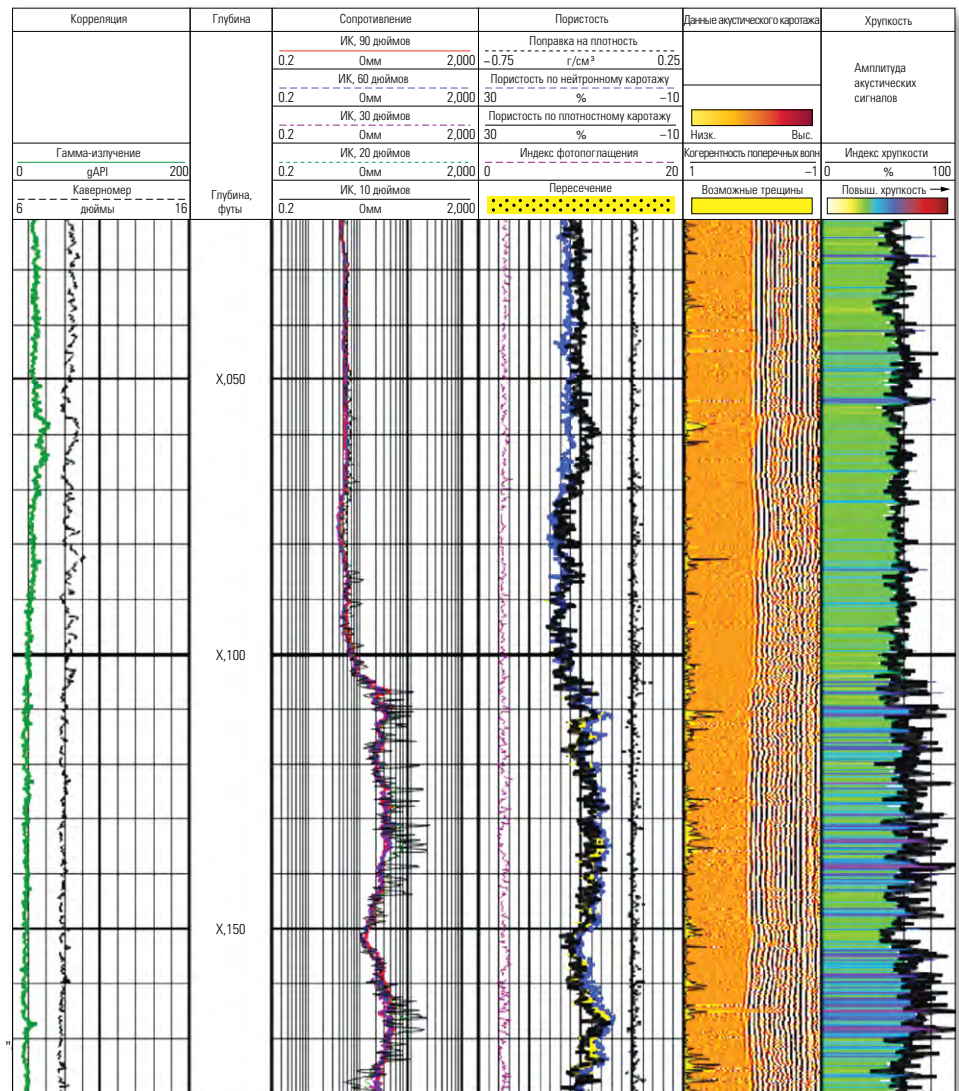
Специалисты по каротажной системе ThruBit смонтировали 4х-приборную компоновку под 4х-дюймовую бурильную колонну. Смонтированная компоновка была под давлением спущена через отверстие в долоте Portal в каротажное положение, затем горизонтальная часть была исследована в режиме записи данных в память во время подъема буровой колонны из скважины. Когда каротажные приборы достигли обсадной колонны, они были подняты на устье на кабеле. При этом 6 1/2 -дюймовое долото Portal оставалось в скважине, что дало возможность оператору проработать скважину до проектной глубины для последнего промывочного рейса перед спуском обсадной колонны. Данные высокого качества, полученные с помощью каротажа комплексом ThruBit, оказались очень важными для заканчивания скважины. Они показали значительные изменения в литологическом строении вдоль горизонтальной части ствола. Четкое представление о коллекторских свойствах пласта, полученное на основе данных ГИС, заставило недропользователя направить основные усилия по интенсификации притока на призабойный участок ствола, где были обнаружены лучшие коллекторские свойства пород.

На основе кривой индекса хрупкости, рассчитанного из данных акустического каротажа, процесс интенсификации был разделен на интервалы по типам пород, что дало возможность оптимизировать интервалы обрабатываемых интервалов, объемы подушки и перфорационные кластеры. По результатам анализа волновых картин, полученных по данным акустического каротажа были выделены интервалы естественной трещиноватости в пласте, которые были учтены в конструктивной схеме программы гидроразрыва для минимизации риска досрочного выпадения расклинивающего агента из жидкости разрыва. В программу был добавлен еще один интервал гидроразрыва, чтобы при обработке охватить весь горизонтальный участок скважины. Компания добилась выдающихся результатов: была построена добывающая скважина, вошедшая в первую десятку по дебиту из пластов Миссисипской системы в штате Канзас в 2011 году.

«Применение технологии ThruBit позволило компании Osage четко спланировать интенсификацию притока гидроразрывом пласта за счет улучшенного распределения кластеров для повышения нефтеотдачи»

**Бенджамин У. Крауч**

исполнительный вице-президент компании Osage Resources, LLC



После спуска четырехмодульной сборки была выявлена значительная неоднородность пород в интервале исследований, о чем свидетельствует широкий диапазон изменения пористости от 4 до 16% (дорожка 3). Данные акустического каротажа (дорожка 4) сыграли ключевую роль в выявлении трещин, что легло в основу построения схемы оснащения горизонтального участка в карбонатном пласте Миссисипской системы.

## Анализ практических примеров применения

Непрерывное проведение каротажных операций комплексом ThruBit в наклонно-направленной скважине в течение 37 часов благодаря питанию, обеспеченному мощными аккумуляторами

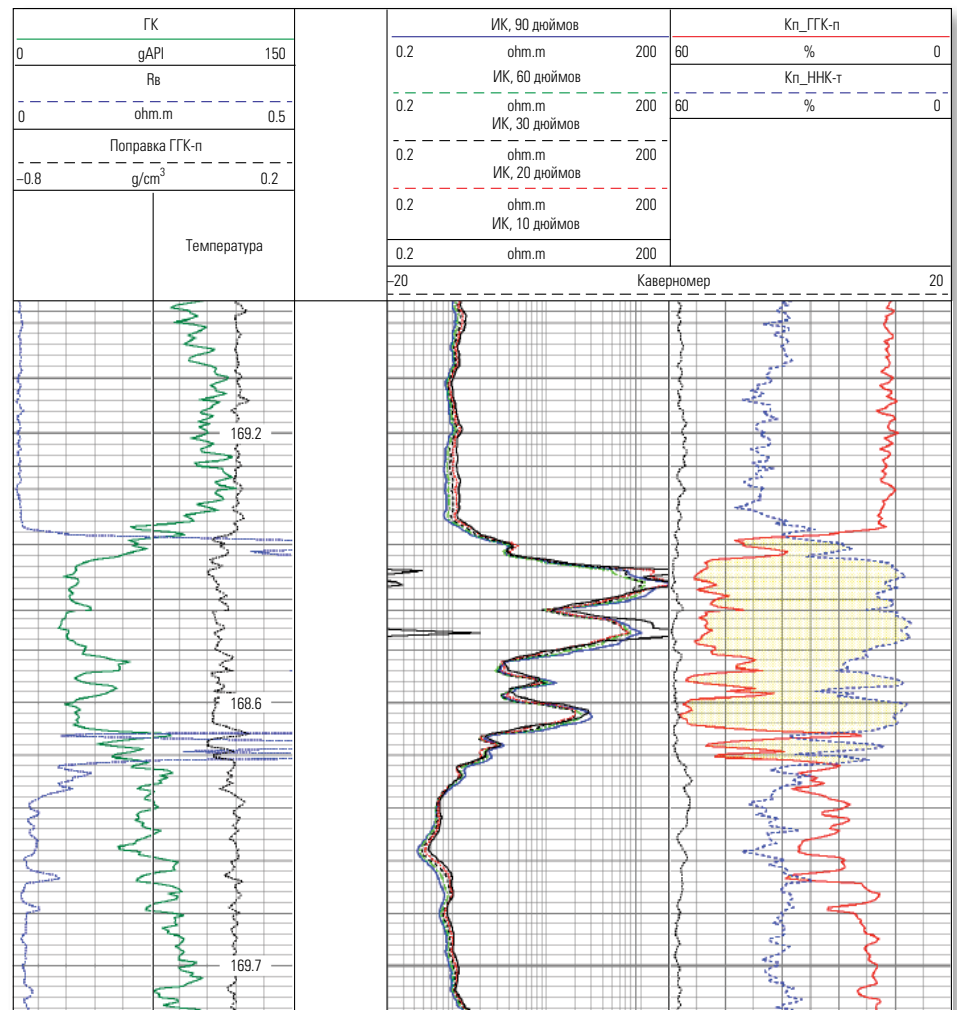


Скважина в Плакмайнс Пэриш (Южная Луизиана) представляла собой множество сложностей для проведения ГИС. Ее ствол отклонялся на 42° с глубины 10 000 футов до глубины забоя (12 700 футов), а также имел многочисленные проблемные участки, которые требовали проработки. Каротажные работы приходилось бы многократно приостанавливать на несколько часов для промывки, чтобы освободить прихваты труб, а также вымыть из скважины притоки соленой воды и газа. В подобных условиях вместо проведения рискованных и затратных геофизических исследований во время бурения, недропользователь предпочел провести ГИС с помощью системы каротажа через долото ThruBit.

При подготовительном рейсе до глубины забоя для проработки проблемных участков применялось 9 7/8-дюймовое долото Portal. Затем, через буровую трубу проводился спуск каротажной компоновки на кабеле, которая выводилась через отверстие в долоте Portal в открытый ствол. Была проведена

проверка работоспособности приборов, а затем кабель был удален из скважины для проведения каротажа в режиме записи данных в память во время подъема бурильных труб. Предупреждение НГВП и прихватов осуществлялось вращением БК и промывками скважины по необходимости.

Из-за многочисленных остановок на промывку, время необходимое для завершения каротажных работ составило 37 часов. Весь этот период мощные аккумуляторы обеспечивали бесперебойное электропитание компоновки приборов. Были зарегистрированы высококачественные каротажные данные, получение которых было бы невозможным при применении стандартных ГИС на кабеле. Процедура регистрации данных потребовала меньших затрат и предусматривала меньший риск, чем при каротаже во время бурения.



Благодаря высококачественным данным ГИС, полученным с помощью комплекса каротажа через долото ThruBit, невзирая на сложные скважинные условия, удалось обнаружить мощный потенциальный коллектор с хорошими ФЕС

## Анализ практических примеров применения

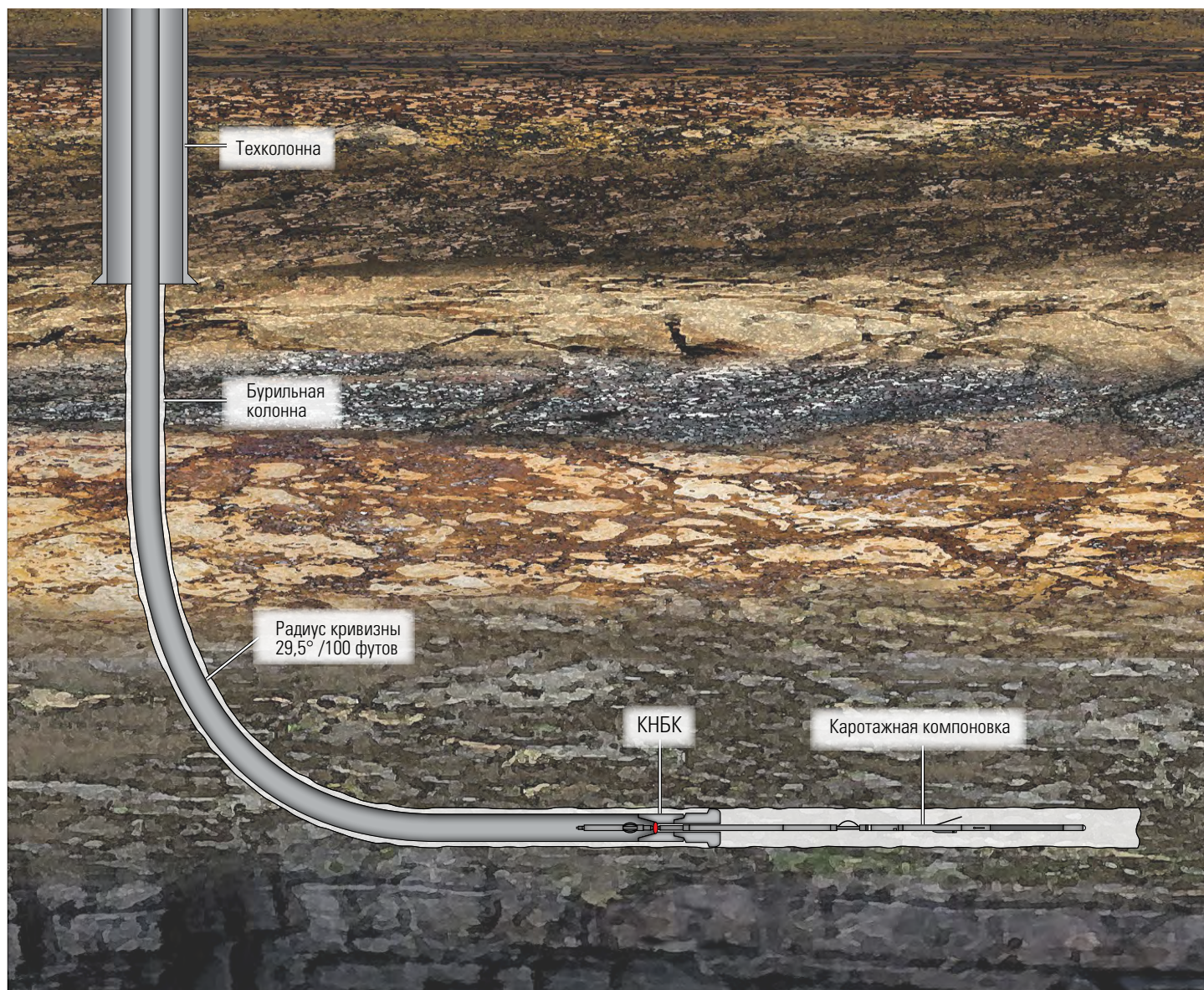
Оценка коллекторских свойств пород, вскрытых горизонтальной скважиной на месторождении Баккен Шейл за одну спускоподъемную операцию с помощью комплекса ThruBit



Компанией Oasis Petroleum Inc. была поставлена задача проведения геофизических исследований скважины на месторождении Баккен Шейл, пробуренной на глубину 29 766 футов по стволу с горизонтальным участком протяженностью 10 000 футов. Конструкция скважины была достаточно сложной для спуска каротажных приборов: радиус кривизны скважины - 29,5°/100 футов; угол отклонения от вертикали - до 91°.

Компания использовала систему ThruBit с долотом Portal при проработке скважины, подготовке ее к ГИС и последующему спуску эксплуатационного хвостовика. Для предотвращения НГВП и

прихватов бурового инструмента в процессе спуска компоновки через протяженный горизонтальный участок предусматривались промывки скважины. После спуска сборки каротажных приборов на целевую глубину, она вышла через отверстие в долоте Portal в открытый ствол для каротажа в режиме записи данных в память во время подъема бурового инструмента из скважины. Геофизикам компании Oasis потребовался всего один рейс каротажного комплекса ThruBit для получения высококачественных петрофизических данных необходимых для оценки ФЕС коллекторов в горизонтальном стволе скважины



Несмотря на большую кривизну и протяженность горизонтального участка скважины на месторождении Баккен Шейл, проведение ГИС не представляло труда благодаря проработке ствола долотом Portal комплекса ThruBit, а затем – проведением исследований в режиме записи данных в память во время подъема бурового инструмента из скважины за один рейс.

# Порядок проведения операций по оптимизации добычи из нетрадиционных залежей

## Techlog программная платформа



## Petrel программная платформа



Высококачественные данные ГИС, полученные с помощью комплекса ThruBit при исследовании нетрадиционных залежей, являются важным компонентом при моделировании мультистадийных гидроразрывов пласта в программе Mangrove на платформе Petrel. Процедура, разрабатываемая с помощью программы моделирования Mangrove, основана на геологической модели залежи, что способствует разработке наиболее оптимальных программ заканчивания скважин.





При разработке данной конструктивной схемы, ориентированной на коллектор, в Дентоне (штат Техас) использовались данные ГИС, полученные с использованием комплекса ГИС через долото ThruBit

«Без системы ThruBit нам никак не удалось бы получить  
данные ГИС из этой скважины.»

геолог,  
Южная Луизиана



## Физико-технические характеристики ThruBit

### Технические характеристики

Выходные данные	Прибор телеметрии, блок памяти и прибор гамма-каротажа: гамма-излучение, трёхосный акселерометр, температура в стволе Прибор многозондового индукционного каротажа: разноглубинные измерения УЭС, сопротивление бурового раствора, дополнительно – ПС Прибор нейтронного каротажа: пористость по тепловым нейтронам Прибор плотностного каротажа: объемная плотность, ФЭФ, скважинная кавернометрия Прибор акустического каротажа: интервальные времена пробега продольных и поперечных волн в средне- и высокоскоростных разрезах Прибор СГК: естественное гамма-излучение; поправка показателей гамма-излучения за уран; кривые по калию, торию и урану
Скорость каротажа	Прибор телеметрии, блок памяти, и прибор гамма-каротажа; приборы нейтронного, плотностного, индукционного и акустического каротажа 550 м/ч (1800 футов в час)
Диапазон измерений	Гамма-каротаж: от 0 до 1000 единиц гамма излучения gAPI Каротаж сопротивления: от 0.1 до 2000 мм Нейтронный каротаж: от 0 до 60 ед. Объемная плотность: от 1.04 до 3.3 г/см <sup>3</sup> Фотоэлектрический фактор: от 0.9 до 10 Каверномер: 46 см (18 дюймов) Интервальное время: 138 до 509 мкс/м
Вертикальное разрешение	Гамма-каротаж: от 30.5 см до 61 см ( от 12 до 24 дюймов) Каротаж сопротивления: 30.5 см, 61см, 122 см (1, 2 и 4 фута) Нейтронный каротаж: от 30.5 см до 38 см (от 12 до 15 дюймов) Объемная плотность: от 23 см до 30.5 см (от 9 до 12 дюймов) Интервальное время: 61см (24 дюйма)
Точность	Гамма-каротаж: ±5% Каротаж сопротивления: ±1 мсм/м или ±2%, в зависимости от того, что больше для измерения на 60 дюймов Прибор нейтронного каротажа: ±0.5 ед. Объемная плотность: ±0.01 г/см <sup>3</sup> PEF: ±0.15 Каверномер: ±5 мм ( ±0.2 дюйма) Интервальное время: ±6.6 мкс/м Th: ±3.2 rрт или ±5% от показаний U: ±1 rрт или ±5% от показаний K: ±0.5% (весовых) или ±10% от показаний
Глубина исследования	Гамма-каротаж: 30.5 см (12 дюймов) Каротаж сопротивления: 25.4 см, 51см, 76 см, 152 см и 228 см (10, 20, 30, 60 и 90 дюймов) Нейтронный каротаж: 25.4 см (10 дюймов) Объемная плотность: 5 см (2 дюйма) ГГКс: 5 см (2 дюйма) Интервальное время: 7.6 см (3 дюйма)
Ограничение по типу и плотности бурового раствора	Нет
Совместимость	Все приборы системы ThruBit
<b>Физические характеристики</b>	
Диапазон рабочих температур	Трехприборная компоновка: 175 °С; четырехприборная компоновка: 150 °С
Допустимое рабочее давление	1020 атмосфер
Мин. диаметр ствола	101 мм.
Макс. диаметр ствола	Прибор телеметрии, блок памяти, и прибор гамма-каротажа; приборы индукционного и акустического каротажа: 356 мм Приборы нейтронного и плотностного каротажа: 457 мм
Наружный диаметр	54 мм
Длина	Прибор телеметрии, блок памяти и зонд для гамма-каротажа: 1.87 м Прибор многозондового индукционного каротажа: 4.7м Прибор нейтронного каротажа: 1.88 м Прибор плотностного каротажа: 3.25 м Прибор акустического каротажа: 3.65 м Прибор СГК: 1.78 м
Масса	Прибор телеметрии, блок памяти и зонд гамма-каротажа: 20.5 кг Прибор многозондового индукционного каротажа: 42.6 кг Прибор нейтронного каротажа 28.5 кг Прибор плотностного каротажа: 42.6 кг Прибор акустического каротажа: 27.2 кг Прибор СГК: 17.2 кг

# ThruBit Dipole

## ГИС через долото. Кросс-дипольный Акустический каротаж

### Область применения

- Геофизика
  - калибровка скоростей, преобразование время-глубина
  - корректировка 3D сейсмки и привязка по глубине
  - синтетические сейсмограммы
  - оценка анизотропии с определением ее типа
- Петрофизика
  - оценка пористости
  - литологическое расчленение разреза и глинистости
  - выделение газонасыщенных интервалов
- Измерение интервального времени распространения волны Стоунли
  - оценка трещиноватости
  - оценка проницаемости (подвижности)
- Геомеханика
  - обеспечение безопасного заложения ствола скважины в поле основных напряжений, а также устойчивости стенок посредством определения тектонического режима и пластового давления
  - оптимизация ГРП
  - оптимизация перфорации для контроля пескопроявления

Сервис ThruBitDipole, с уникальным способом доставки в интервал исследований сквозь буровое долото благодаря своему малому диаметру, позволяет получать детальные акустические характеристики в горизонтальных скважинах и скважинах со сложной геометрией ствола. Новейшая технология позволяет проводить измерения интервальных времен, компенсированные за влияние скважины, при регистрации волновых полей монополярного (включая его низкочастотную компоненту – волну Стоунли) и кросс-дипольных излучателей.

Антенна приемников прибора состоит из 12 станций, расположенных на расстоянии 10 см друг от друга. Первая станция антенны приемников находится на расстоянии 178 см от монополярного излучателя и 198 см от дипольных излучателей. Каждая приёмная станция состоит из двух пар широкополосных пьезоэлектрических гидрофонов, со-направленных с дипольными излучателями. Суммированный сигнал с одной пары гидрофонов позволяет регистрировать волновое поле, создаваемое монополярным излучателем, разностный сигнал позволяет вычлест монополярную компоненту и регистрировать волновое поле, создаваемое дипольным излучателем.

В момент работы дипольного излучателя используется группа приёмников, соосных данному излучателю. Таким образом, при последовательной смене четырёх основных режимов работы излучателей регистрируются четыре массива по 12 волновых полей.

Секция излучателей состоит из двух наборов излучателей и механического изолятора, который предотвращает распространение прямой изгибной волны по корпусу прибора. Пьезоэлектрический монополярный излучатель работает в двух частотных режимах: стандартном, для создания продольной и поперечной головных волн, и низкочастотном для создания волны Стоунли. Два совмещенных ортогональных пьезоэлектрических излучателя работают в широком частотном диапазоне, создавая дипольный сигнал с высоким отношением сигнал/шум.

Алгоритм оценки 3D анизотропии применяется для преобразования данных измерений продольных, быстрых и медленных поперечных волн и волны Стоунли относительно оси скважины в соответствующие этим направлениям компоненты тензора упругих модулей. Последующее сравнение этих компонент позволяет выделить анизотропные интервалы, а также определить тип наблюдаемой акустической анизотропии – обусловленный свойствами самой породы, такими как трещиноватость или слоистая текстура, либо разницей горизонтальных напряжений.



19

Кросс-дипольный  
Акустический каротаж

## Физико-технические характеристики ThruBit Dipole

<b>Технические характеристики</b>	
Регистрируемые параметры	Интервальные времена продольной, поперечной и Стоунли волн, волновые картины, оценка анизотропии
Скорость записи	549 м\час
Ограничения по диапазону скоростных характеристик пород	по продольной волне: < 558 мкс/м по поперечной волне: < 656 мкс/м
Вертикальное разрешение	< 1.12 м
Точность	2 мкс/м или $\pm 2\%$ (для скважины 8.75")
Ограничения по типу и плотности раствора	Нет
Совместимость	Совместим со всеми модулями комплекса ThruBit
Температурный диапазон	150 °С
Максимальное давление	120 МПа
Минимальный диаметр ствола	мин. внутр. диам бур. колонны в режиме спуска/подъема прибора: 6.03 см скважины/колонны в режиме регистрации данных: 7.62 см
Максимальный диаметр ствола	22.2 см
Диаметр прибора	5.4 см
Длина прибора	8.87 м
Вес прибора	60 кг
Прочность на растяжение	111206 Н
Прочность на сжатие	Зависит от конфигурации модельной сборки

Торговая марка компании Шлюмберже.  
Copyright © 2015 г Schlumberger. Все права защищены. 14-FE-0042-rus

[www.slb.com/thrubit](http://www.slb.com/thrubit)

**Schlumberger**