

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

### Clarion system calls for new approach to downhole seismic in reservoir management

### Система Clarion нуждается в новом подходе к проведению скважинной сейсморазведки при контроле состояния резервуара

Технология сейсморазведки традиционно использовалась скорее при разведке, чем при добыче углеводородов. Weatherford, одна из крупных нефтяных компаний, считает, что её новая сейсмическая оптико-сенсорная система имеет все шансы на интеграцию с существующим технологическим процессом. После четырех лет проведения разработок и полевого тестирования, стационарная внутрискважинная система Clarion начала продаваться по всему миру и была интегрирована со стационарной оптико-сенсорной продукцией и внутрискважинными системами регулирования дебита с целью оптимизации добычи и осуществления контроля состояния резервуара. Вице-президент по управлению бизнесом группы Intelligent Completions компании Weatherford, Tad Bostick, дает краткое описание процесса разработки данной технологии..

**В** конце 70 – начале 80х г.г. индустрия начала ощущать потенциал внутрискважинных сейсмических методов, направленных на повышение качества разведки, уменьшение стоимости бурения, контроль достоверности информации и повышения продуктивности коллекторов. В эти годы наблюдался взрывной рост интереса и случаев использования вертикального сейсмического профилирования (ВСП). По мере того, как увеличивалось количество готовых скважин, традиционная взрывная наземная сейсморазведка переходила в ВСП, и регистрация полного волнового поля начала осуществляться с помощью внутрискважинных геофонов. Регистрируемая в земле форма импульса использовалась для независимой проверки и корреляции наземных сейсмических наблюдений. Положение подземных измерительных устройств (сенсоров), прямое измерение скоростей и установление зависимостей время-глубина, возможность совмещать различные масштабы разнородных данных открыли возможность для всесторонней (полной) привязки данных наземной сейсморазведки к данным, полученным при скважинных исследованиях.

Удаление (вынос) источника от приемника (непродолное сейсмическое профилирование, НВСП) предоставило возможность получать более разрешенные структурные и стратиграфические карты, чем при наземном сейсмическом профилировании, несмотря на ограниченность исследований в пространственном отношении; однако стоимость скважинного оборудования, помещаемого на определенный интервал глубины, оставалась довольно высокой в переводе на время бурения скважины, а также неразвита технология обработки данных НВСП ограничили внедрение этой технологии в производство. Популярность исследований при расположении нескольких источников на поверхности совместно с установкой небольшого количества сейсмостанций в скважинах, а также с появлением многоуровневых трехкомпонентных (ЗС) устройств, возродила интерес к проведению внутрискважинных сейсмических исследований в конце сейсмической в конце 80х г.г.

На протяжении следующего десятилетия, исследования были сконцентрированы на дальнейшую интеграцию воедино данных наземных сейсмических наблюдений, анализа керна и коротажных исследований. Естественным связующим звеном внутрискважинное сейсмическое профилирование; но геофизическая информация, получаемая от этого метода, была не достаточно достоверной при чрезмерно высокой стоимости проведения работ. К сожалению, в это время упали цены на нефть и нефтяные компании провели реструктуризацию,

результатом которой было выполнение краткосрочных работ, что значительно сократило дальнейшие научно-исследовательские работы. Несмотря на это, дальнейшие разработки преимущественно в плане технических средств и методик обработки данных в конце концов сделали возможным экономически выгодное получение внутрискважинных сейсмических данных требуемого качества. Наиболее значительным прорывом того времени является появление более надежного и функционального многоуровневого ЗС оборудования, которое обеспечило проведение быстрых и синхронных измерений на многих уровнях (глубинах). Более глубокое понимание теории распространения волнового поля позволило проводить полную ЗС обработку, результатом которой являются более полные волновые картины Р и S волн. Новейшие технологии сейсморазведки, такие как картирование трещин от гидроразрыва пласта и микросейсмический мониторинг также добивались своего права на существование.

К концу 90х г.г. возможность проведения модернизированной обработки на рабочих станциях позволила быстро выполнять интерпретацию скважинных сейсмических данных, используя оптимизированные ЗС графы обработки.

Технология ЗС ВСП стала выполнимой и в настоящее время широко используется. Однако скважинные сейсмические исследования в очередной раз претерпели изменения и начали давать даже более полную объемную информацию.

Следующим шагом в эволюции этой технологии являются постоянные измерения. Разработка малых, более прочных, пригодных для широкого круга задач оптических датчиков (сенсоров) и многоканального оптического оборудования открыла возможность установки технически надежных сейсмических расстановок (датчиков) в стволы скважин на длительные периоды времени при жестких ограничениях.

#### Разработка продукта

Для удовлетворения потребности рынка в достоверном, высокоразрешающем, отображении данных по требованию, компания Weatherford направила усилия на исследование и разработку устанавливаемой в скважины сейсмической системы. Первое полевое испытание было проведено в конце 1999 – начале 2000 г. Испытание было направлено на установку единственного многокомпонентного датчика (сенсора) в скважину с первоочередными задачами – обеспечить надежный контакт датчика с породой и оценить отношение сигнал-шум, а также откалибровать показания оптического датчика посредством обычных измерений по технологии ВСП. Результаты показали, что, действительно, многокомпонентные сейсмические данные высокого качества могут быть получены с помощью оптических датчиков.

Следующее испытание на территории газохранилища

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

Izaute на юго-западе Франции включало в себя постоянную установку многоканального многокомпонентного прибора и последующее проведение вторичных исследований для изучения изменений во времени. В результате полевых работ были получены данные двух типов постоянных сейсмических наблюдений – VSP и расширенных - микросейсмический мониторинг. Выполненные перед этим традиционные исследования с опусканием приборов на каротажном кабеле продемонстрировали возможность картировать ГНК с помощью ВСП и потенциально установить связь между возникновением микросейсм и поступлением газа и продуктивностью толщи.

Массив датчиков был установлен внутри 4 дюймовой эксплуатационной колонны, которая в свою очередь была помещена внутри 9 5/8 дюймовой обсадной колонны. Такая схема установки была использована для облегченного доступа к массиву датчиков с целью повторного проведения ВСП и продолжительного во времени мониторинга, и в то же время для обеспечения доступа каротажных приборов к резервуару через эксплуатационную колонну. Оптоволоконный кабель диаметром 1/4 дюйма связывал как весь сейсмический массив с поверхностью, так и блоки датчиков между собой. Выходной сигнал с датчика был представлен в аналоговой форме и подавался на традиционную сейсморазведочную систему записи. Сопоставление результатов проводилось с ранее записанными данными прибора ВСП на кабеле и обнаружилась хорошая корреляция. Исходные измерения были выполнены без сбоев и записи показали хорошую повторяемость. В данное время ведется дальнейшая обработка для изучения изменений во времени и ее анализ.

Это испытание продемонстрировало тот факт, что распределенный массив оптоволоконных датчиков (сенсоров) может быстро устанавливаться на эксплуатационную колонну в закрытом стволе с минимальным влиянием на скважину. Грядущий проект в структурном комплексе на территории Северного моря представит некоторые важные аспекты для проведения стационарной внутрискважинной сейсморазведки:

- Первый опыт проведения оптоволоконной многоканальной, многокомпонентной сейсморазведки на некотором удалении от берега.
- Первое испытание сборки оптика-температура плюс сейсморазведка, установленной на единственном оптическом кабеле
- Проведение самой глубокой на сегодняшний день оптоволоконной многоканальной, многокомпонентной сейсморазведки

В прибрежных условиях, 4D сейсморазведка доказала свой успех на многих исследуемых территориях по всему миру. Однако существуют значительные ограничения при проведении высококачественных многовременных исследований. В прибрежных условиях, стационарные установки и структуры, устанавливаемые как на поверхности моря, так и на морском дне, могут создавать проблемы как для проведения морской сейсморазведки с буксируемыми косами, так и для сейсмических исследований на дне моря. Стационарная внутрискважинная сейсморазведка может быть использована как дополнение, а в некоторых случаях как

### Как Clarion отвечает нуждам E&P

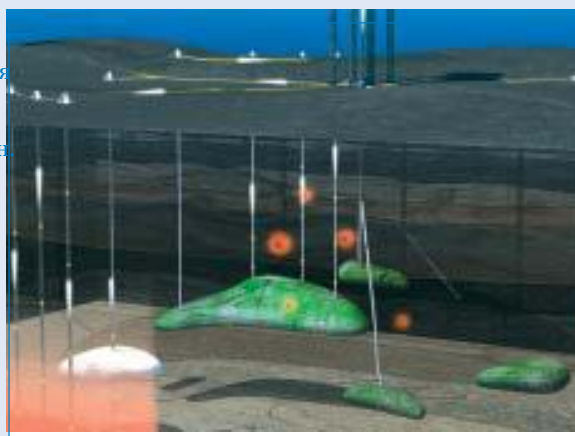
Для того, чтобы узнать стоимость активов, компании должны оптимизировать добычу и максимизировать извлечение газа и нефти. Система Clarion характеризуется высоким разрешением данных, изображением коллектора по запросу пользователя (Рис. 1), она позволяет сокращать расходы и усовершенствовать добычу на всех фазах разработки и решает задачи: оптимального размещения разведочных и загущающих скважин; сокращения стоимости бурения и завершения скважины; планирования вспомогательных действий - управление поступлением воды и газа; улучшенного понимания охвата пласта вытесняющим агентом; и замещения пустот.

Технология сейсмической разведки (E&P) смещается в сторону 'Р' (разведка) а не 'Е' (поиски), что требует нахождения взаимосвязи между исследованиями на микро- и макро- шкале и интеграции многих дисциплин.

Добыча и управление коллектором заставляет проводить работы на разных уровнях, от микро-шкалы петрофизики до макрошкалы геофизики. Также технологии получения данных оперируют на разных уровнях. Взятие керна соответствует микроскопической шкале. Наземная сейсморазведка оперирует в шкале от сотен метров до нескольких километров. Только объединяя данные исследований и анализа в разных масштабах можно создать изображение коллектора. Система Clarion делает возможным эту связь.

Вместе с направлением развития индустрии к multidisciplinarным взаимодействиям, технология в основе этой системы позволяет операторам принимать более информированные решения на стыке дисциплин.

Тогда как геофизики интересуются датчиками, получением данных, их обработкой, изображениями и атрибутами, Петрофизики и инженеры занимаются планированием, бурением и эффективным размещением скважин, а затем управлением на ежедневной основе. Система Clarion позволяет сгладить этот разрыв между дисциплинами.



**Рис 1** Clarion передает высококачественные сейсмические данные через оптические датчики, которые соединены вместе на поверхности через жесткий оптический кабель.

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

замена традиционным поверхностным 4D методам. Цель следующего проекта состоит в оценке измерений стационарной внутрискважинной сейсморазведки в крупномасштабной производственной и эксплуатационной области и в расширении связей между поверхностными и скважинными данными.

### Описание системы

Стационарная внутрискважинная сейсморазведочная система должна быть адаптирована для широкого круга скважинных конфигураций. Полностью оптическая система Clarion может быть установлена как отдельное решение или может входить в сложные скважинные сборки (см. Рис 2). Скважинные сборки постоянно оборудуются блоками сейсмических оптических датчиков, соединенных между собой, которые в свою очередь соединены с поверхностью посредством прочного оптического кабеля. Оптический кабель проводится через устье в вариантах влажной, сухой, наземной, береговой и морской донной фонтанной арматуры.

Каждый блок датчиков включает прочные оптические сенсоры маленького размера, расположенные в твердом, плоском, защитном корпусе (см. Рис. 3). Датчики расположены в ограниченных областях, определяемых типом сборки. Оптические сейсморазведочные датчики обладают высокой чувствительностью, широкой полосой пропускания частот и огромным динамическим диапазоном, работают без использования сложных преобразований сигнала, его усиления и фильтрации внутри скважины, которые обычно используются при работе с массивами электронных датчиков. Оптические акселерометры и гидрофоны были разработаны и прошли испытания на надежность и безотказность при работе в неблагоприятных средах внутри скважин и на трудные условия установки системы внутри эксплуатационной и обсадной колонны. Благодаря присущему им сопротивлению температурно-наведенному ухудшению характеристик во времени, эти датчики являются намного более надежными и долговечными чем электронные внутрискважинные датчики (см. Рис. 4 и 5). Корпус системы монтируется в свечу обсадной или эксплуатационной колонны с помощью оправки или втулки. Модуль датчиков может быстро отделяться от корпуса для поддержания прочного соприкосновения с обсадной колонной или стенкой скважины в любое время для достижения наилучшего акустического контакта.

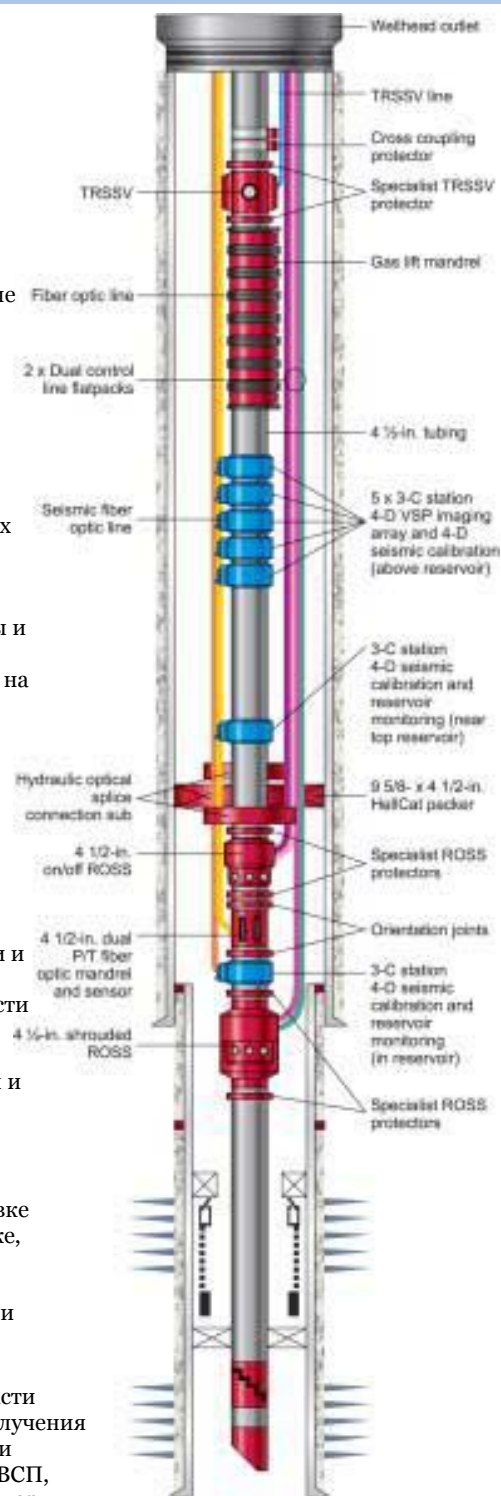
Оптическая измерительная система опрашивает сейсмические датчики и переводит измеренную оптическую длину волны в аналоговую или цифровую форму, пригодную для записи. Расположенное на поверхности приемное оборудование может быть настроено для работы с обычной сейсмической системой регистрации.

Постоянная установка системы исключает риск целостности скважины и потери продуктивности и стоимости, связанной с использованием сейсморазведочных технологий, основанных на воздействии на скважину. В 4D задачах, датчики полностью исключают неточности, связанные с идентичностью положения приемников при повторном проведении работ, которые могут часто приводить к повторной установке временных внутрискважинных датчиков (сенсоров). От съемки к съемке, использование стационарных датчиков позволяет избежать несовместимости данных и ошибок, вызванных использованием различных типов датчиков с меняющимися характеристиками разными подрядчиками.

### Применение

Устанавливаемая постоянно в скважину, близко расположенная к области изучения сейсмическая система Clarion предоставляет возможность получения набора высоко-разрешенных данных в любой момент времени для пяти основных областей применения: исследования резервуара с помощью ВСП, привязка данных наземной сейсморазведки, микросейсмический мониторинг, межскважинные сейсмические исследования и сейсморазведка в процессе бурения.

Для изображения резервуара с помощью ВСП, устанавливаемый в скважину на большой период времени набор датчиков повышает стабильность, увеличивает воспроизводимость при 4D работах и дает возможность проводить высокоразрешающее ВСП в любой момент времени без вмешательства в скважину.



**Рис. 2** В этой ситуации система использовалась совместно с оптической системой датчиков давления/температуры и двухуровневой системой регулирования дебита, управляемой с поверхности.



## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка



**Рис. 3** Внутрискважинная сейсмическая станция включает в себя прочные оптические сенсоры маленького размера, расположенные в твердом, плоском, защитном корпусе. Корпус системы монтируется в свечу обсадной или эксплуатационной колонны с помощью оправки или втулки.



**Рис. 4** Электронным датчикам присуща классическая «ванная» характеристика износа. Имеет место выход из строя в начальный период эксплуатации; следующий за ним период характеризуется уровнем стабильности и окончательно приходит фаза полного износа оборудования. Фаза полного износа характеризуется случайным и резким ростом интенсивности отказов. Чем выше рабочая температура, тем раньше придет фаза полного износа.



**Рис. 5** Температура играет большую роль в надежности стационарных систем мониторинга. При использовании электронной системы, надежность экспоненциально падает по мере увеличения температуры; однако, при использовании оптических систем, которые сделаны из стекла и не включают в себя скважинную электронику, надежность не падает. Стекло не изменяет свои свойства при высоких температурах в скважине.

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

- При привязке поверхностной сейсморазведки, использование постоянно устанавливаемых датчиков позволяет получить состоятельный репер для привязки данных поверхностной 4D сейсморазведки.
- Продолжительный пассивный акустический мониторинг микросейсмических сигналов под землей позволяет лучше понять такие характеристики резервуара как движение флюида, эффективность дренирования, активные трещины и зоны уплотнения породы..
- Сейсмические данные, полученные внутри скважины, могут быть использованы для анализа геологии и свойств флюида, а также протяженности резервуара между скважинами, в более крупном масштабе, чем данные поверхностной сейсморазведки.
- Выступая в роли сейсмической системы в процессе бурения, данная система может проводить внутрискважинные измерения сейсмических сигналов, создаваемых буровым долотом, для оказания помощи в выборе оптимального расположения ствола скважины.

### Взгляд в будущее

Стационарные внутрискважинные измерения на сегодняшний день расширяют границы технологий сейсморазведки от стадии разведки до эксплуатации путем создания связей между макро и микро масштабами исследований, позволяя проводить более тесную интеграцию многопрофильных данных.

Прошло всего 4 года с момента испытания системы компании Weatherford на юге Техаса, в 1999 г, до создания её окончательного варианта в 2004 г, но за это время технология проведения внутрискважинных сейсмических измерений стала обязательной, экономически выгодной частью эксплуатации и оптимизации процесса добычи. Система Clarion в данное время полностью поставлена на коммерческую основу как часть бизнес подразделения компании Weatherford, где она применяется совместно с другими стационарными оптико-сенсорными устройствами и гидравлическими внутрискважинными системами регулирования дебита. Это позволяет утверждать, что система имеет возможность проводить измерения на различных типах резервуаров по всему миру, реализуя при этом эффективное управление и обработку информации, полученной из периодических исследований и продолжительного мониторинга, и сопоставлять сейсмические данные с ранее наблюдаемыми данными. Эта важная и обладающая многими возможностями технология предоставляет уникальный шанс для геофизиков и инженеров объединить усилия для повышения эффективности операций эксплуатации и извлечения углеводородов.