

Введение в Миграцию Дуплексных Волн (МДВ)

(Руководство для Заказчика)

Введение

Обычные (включая анизотропную) 3D Пре-стек Глубинные Миграции (*ПСГМ*) могут обеспечивать достаточно точные структурные построения границу для границ с углами падения от 0 до 60 градусов. Миграция Дуплексных Волн (*МДВ*) является относительно новой технологией, которая способна строить изображения только для субвертикальных границ (углы падения от 60 до 90 градусов) не требуют большой апертуры наблюдений и использует обычную скоростную модель, построенную на основании *ПСГМ*.

МДВ является запатентованной технологией (2005), разработанной и принадлежащей *TetraSeis Inc*, которая является частью *TETRALE Group (ТТГ)*. *ТТГ* имеет головной офис в Калгари, Альберта, Канада. Компания также выполняет значительную часть своих научно-исследовательских работ с привлечением квалифицированных специалистов на Украине в рамках долгосрочных международных проектов УНТЦ (Украинского Научно-Технического Центра).

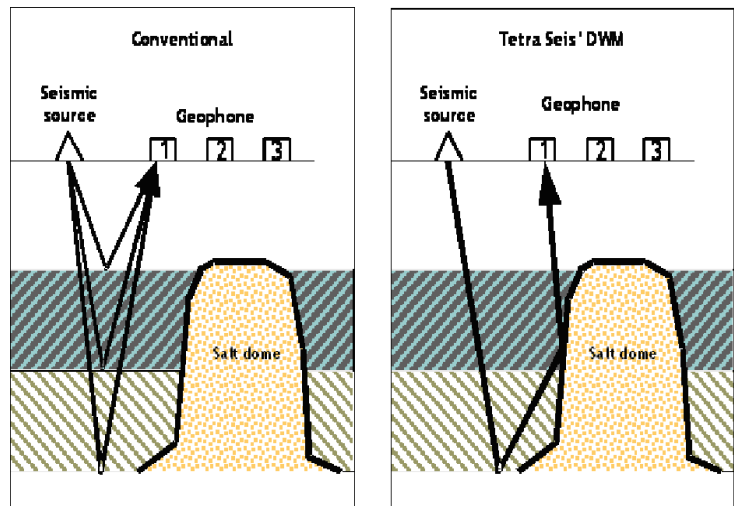
Начиная с 2004 года, *технология* используется для 2D и 3D обработки сейсмических данных и имеет большое количество примеров успешного применения при решении различных геологических задач в разнообразных сейсмогеологических условиях. Необходимой частью деятельности *ТТГ* является выполнение сервисных проектов по формированию кубов *МДВ*, их *пост-обработке и геологической интерпретации совместно с данными стандартной сейсморазведки и каротажа скважин*.

ТТГ выполняет сервисы по обработке *МДВ*, используя свои вычислительные ресурсы. *ТТГ* также может предоставлять такие сервисы как субподрядчик.

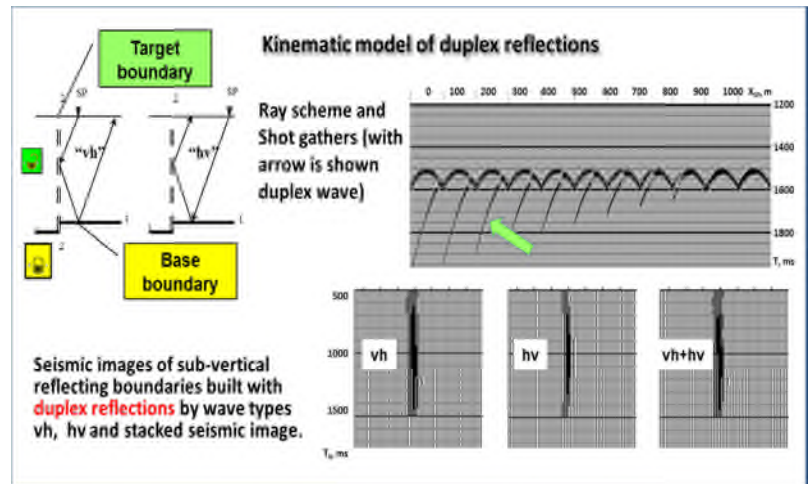
Основы Метода

В *ПСГМ* на основе интеграла Кирхгофа, предполагается, что кинематика луча, используемая при расчетах времени прихода отраженной волны такова, что сейсмическая энергия от источника отражается только от одной границы, прежде чем вернуться на поверхность (энергия однократно отраженных волн – *ЭОВ*). В используемой реализации *МДВ* на основе интеграла Кирхгофа предполагается, что сейсмическая энергия претерпевает два отражения перед возвращением на поверхность (энергия дуплексных волн - *ЭДВ*). Дуплексные волны имеют значительно отличающуюся кинематику и динамически, обычно значительно слабее, чем *ЭОВ*. При обычной обработке для *ЭОВ* дуплексные волны подавляются соответствующим суммированием. Т.е. *ЭДВ* для обычной обработки являются одним из видов волн-помех, присутствующих в исходной сейсмической записи и проявляется в той или иной форме когерентного шума.

Схема, иллюстрирующая отличия технологии МДВ от обычной миграции. **Слева**, приемники на поверхности регистрируют однократно отраженные волны от нижележащих (суб-) горизонтальных геологических слоев. Тем не менее, однократно отраженные от (суб-) вертикальной поверхности волны не могут достичь поверхности наблюдений. Для этого они должны отразиться два раза, как это показано на рисунке **справа**.



При соответствующем определении кинематики задачи, можно суммировать данные таким образом, что энергия дуплексных волн будет усилена, а энергия однократно отраженных волн будет ослабляться. Положение субгоризонтальной границы, при этом, должно быть задано априори (например, по результатам ПСГМ). В результате 3D куб будет содержать изображения вертикальных или почти вертикальных границ с углами падения от 60 до 90 градусов.



Для чего может использоваться МДВ?

Получение сейсмических изображений субвертикальных границ чрезвычайно важно для решения целого ряда разведочных и эксплуатационных задач:

- Определения точного положения стенок соляных штоков;
- Трассирование тектонических нарушений с почти нулевым сдвигом границ по вертикали;
- Определения тектонической раздробленности внутри резервуара;
- Трассирования протяженных систем трещиноватости;
- Характеризации системы проницаемости с использованием скважинной информации по продуктивности и гидродинамическим испытаниям.
- Локализации структурно контролируемых диагенетических резервуаров, образовавшихся по вертикальным трещинам из нижележащих гидротермальных потоков флюидов, например, в гидротермальных доломитах (HTD);
- Выявления различия между HTD пористыми гео-телами, заполненными углеводородами без углеводородного заполнения с использованием относительных амплитуд и AVA анализа на вертикальных гео-телах.

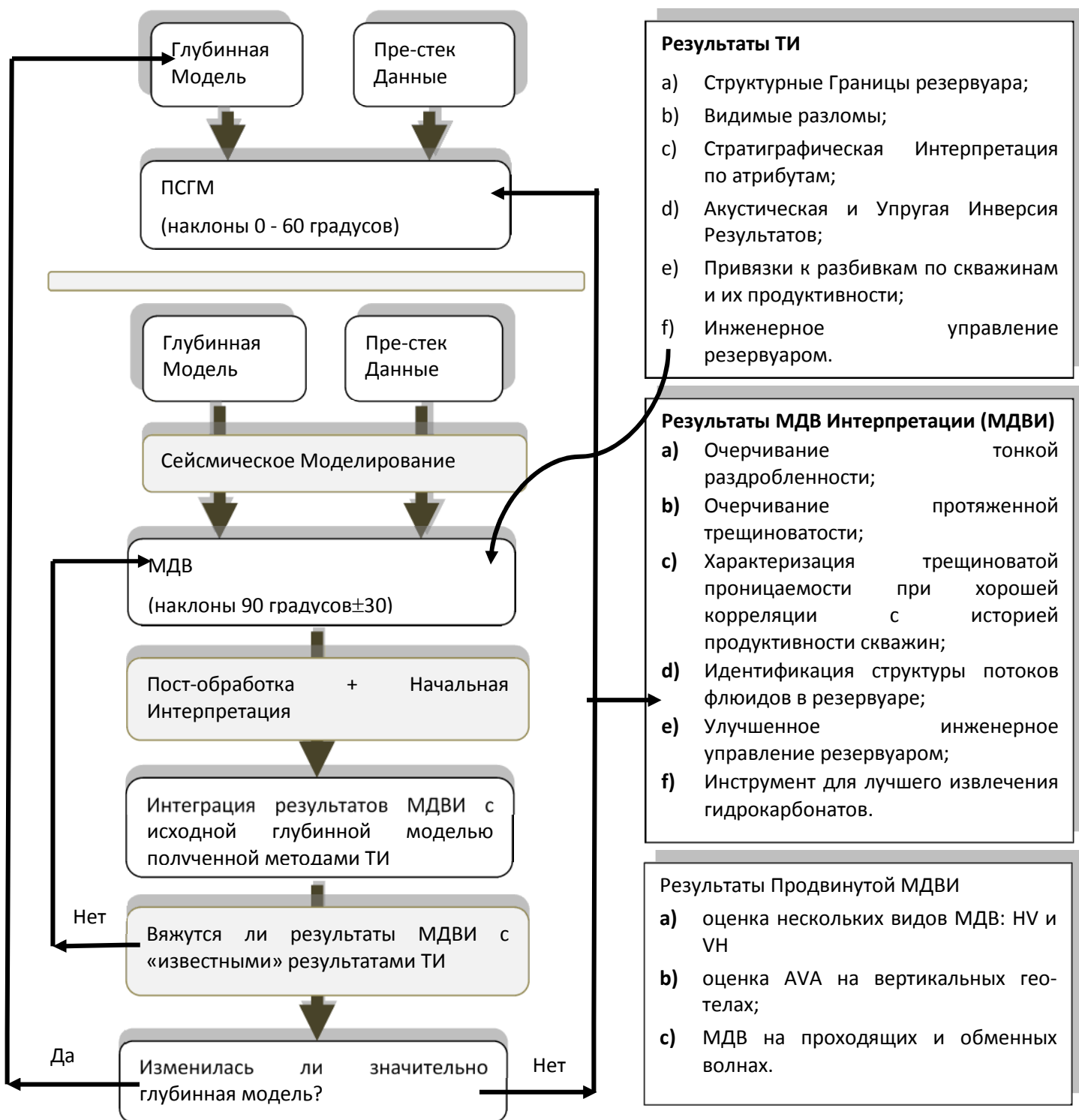
- Нахождения пропущенных резервуаров – повышение нефтеотдачи пластов (ПНП);
- Уточнения положения водо- (газо-) нефтяных контактов;
- Очерчивания сложного распределения разломов при определении скоплений угольного метана.
- Проверки вышележащих экранирующих ловушек на наличие неизвестных трещин и разломов, что критично для анализа надежности резервуара, например при хранении CO₂.

Для более детального ознакомления с технологией МДВ и примерами ее применения для различных сейсмо-геологических условий, пожалуйста, посетите вебсайт компании:

<http://www.tetrale.com/documentation.htm>

Как обработка и интерпретация МДВ вписывается в обычный рабочий граф интерпретации?

На *блок-схеме 1* показано, где МДВ вписывается в граф процесса обработки и интерпретации. МДВ это новый тип глубинной миграции, которая запускается после обычной ПСГМ для повышения качества и детализации традиционной интерпретации(**ТИ**). МДВ использует точно такие же входные данные и глубинную скоростную модель, как и ПСГМ чтобы обеспечить получение критически важной информации о вертикальной границе или латеральных неоднородностях внутри резервуара. Дополнительно задается расположение глубинного отражающего горизонта, называемого **базовой границей**, от которого образуется ЭДВ. Список результатов, которые мы регулярно получаем из **ТИ** графа обработки и результатов Миграции Дуплексных Волн (МДВ) показана *блок-схеме 1*.



Блок-схема 1: Интеграция графов обработки ТИ и МДВИ

Традиционная интерпретация (ТИ) после ПСГМ: обеспечивает четкие структурные границы резервуара и некоторую информацию о явных (с большими смещениями) разломах.

МДВ Интерпретация (МДВИ): Содержит детальную информацию об относительно «слабых», с малыми смещениями, разломах и системах трещиноватости в резервуаре. МДВИ должна выполняться в контексте информации, полученной из ТИ. Если результаты ТИ не вяжутся с результатами МДВИ, то для дальнейшего анализа результатов МДВ и соответствующей пост-обработки необходимо определить, какая интерпретация связывает геологические и эксплуатационные результаты лучше.

Реверс Тайм Миграция (РТМ) vs. Миграция Дуплексных Волн (МДВ)

РТМ	МДВ
<p>РТМ может быть теоретически использована таким же образом как ПСГМ и при этом должна строить изображения для всех типов волн, включая дуплексные.</p>	<p>МДВ является инструментом, направленным на построение изображений субвертикальных границ.</p> <p>Кирхгоф МДВ может быть настроена на построение изображений вертикальной гео-тел, так что амплитуды изображения могут зависеть от угла падения, тем самым обеспечивая возможность AVA анализа по вертикали гео-тел, что невозможно при использовании обычных технологий обработки изображений.</p> <p>Кирхгоф МДВ требует значительно меньше вычислительных ресурсов, чем РТМ.</p>
<p>РТМ не ослабляет энергию однократно отраженных волн (<i>ЭОВ</i>), которая примерно в 100 раз сильнее, чем энергия дуплексных волн (<i>ЭДВ</i>), таким образом, вполне вероятно, что информация о субвертикальных границах, которую мы пытаемся получить, теряется в <i>ЭОВ</i>.</p>	<p>Обработка МДВ сильно ослабляет энергию однократно отраженных волн и усиливает энергию дуплексных волн так что строит изображения субвертикальных границ.</p> <p>МДВ использующая метод Кирхгофа может быть настроена для выделения различных типов <i>ЭДВ</i>, например, отражаемых первый раз от вертикальной границы, а второй раз – от горизонтальной и наоборот, в то время как такое разделение полей не представляется возможным при использовании РТМ. Эта дополнительная гибкость дает возможность детально анализировать особенности субвертикальных разломов и трещиноватости.</p>
<p>РТМ не ослабляет энергию кратных волн. Эта информация также остается в обычных ПСГМ, осложняя последующую интерпретацию.</p>	<p>Кинематика между кратными волнами очень похожа на кинематику однократно отраженных волн и, следовательно, обработка МДВ также сильно ослабляет энергию кратных волн, тем самым строя только изображения субвертикальных разломов и трещиноватости.</p>

Цели и Требования при обработке МДВ

Результаты обработки с помощью МДВ получаются в виде куба в глубинном масштабе, который содержит изображения только вертикальных или почти вертикальных границ. Это достигается путем изображения энергии дуплексных волн (*ЭДВ*), отраженных один раз от субвертикальной границы и один раз от более глубокой субгоризонтальной границы, называемой *базовой границей*. МДВ является прямым методом изображения субвертикальных границ, который предполагает отражение от вертикальной границы, поэтому вертикальные границы должны иметь скачок сейсмического импеданса относительно вмещающих пород. Куб данных МДВ представляет относительные латеральные изменения акустического импеданса в 3D пространстве. Это является прямым методом обнаружения для определения различных типов вертикальных границ или латеральных неоднородностей, связанных с задачами сейсмической разведки, перечисленными выше.

Базовая граница должна быть не выше самого глубокого целевого объекта. Она должна быть достаточно сильным и непрерывным отражателем. Пользователь должен предоставить глубинную модель, используемую при ПСГМ и отражающие поверхности в глубинном масштабе для использования их в качестве базовых границ. Базовая граница не обязательно должна быть плоской или пологой, но эти свойства полезны при последующей обработке МДВ.

Входные данные те же, что используются для временной или глубинной пре-стек миграции. Если были применены методы фильтрации для ослабления шума, то это должно быть обсуждено с ТТГ насколько это может ослабить ЭДВ. Многоканальные FK-фильтрация в области ПВ или сильная RADON-фильтрация в области ОГТ, будут ослаблять ЭДВ проявляемую на сейсмограммах в виде когерентной энергии с необычными углами и наклонами. Процедуры интерполяции сейсмограмм, используемые в обычной предобработке данных, также могут ослаблять ЭДВ. Вообще говоря, ослабление когерентного шума не должно выполняться до МДВ, поскольку сам процесс МДВ автоматически ослабляет любую энергию, которая не имеет кинематики ЭДВ.

Конкретные оценки каждого проекта по применимости МДВ

ТТГ должно иметь возможность просмотреть сейсмические разрезы и графы обработки, чтобы определить применимость каждого проекта для обработки с помощью МДВ. В процессе проверки качества исходных данных (QC) при подготовке к обработке МДВ, ТТГ представляет отчет о шагах, которые должны быть исключены из предварительной обработки данных. Мы также должны понять природу интерпретации и геологические проблемы, которые еще предстоит решить после того, как процесс ТИ был завершен. МДВ является технологией, находящейся в процессе внедрения в отрасль, и мы стремимся предварительно оценить шансы на успех того или иного проекта. ТТГ представляет итоговый отчет о сильных и слабых сторонах каждого набора исходных данных для применения МДВ как части сделки или тендера на обработку данных.

Исходные данные и требования к предобработке для МДВ

1. **Исходные сейсмические данные:** исходные данные могут быть отсортированы в сейсмограммы ОПВ или ОГТ. Заголовки трасс должны содержать координаты источника и приемника. Эти координаты должны быть согласованы с соответствующими координатами скоростной модели и базовой границы в глубинном масштабе. Если МДВ должна быть выполнена с привязкой к истинной поверхности, заголовки трасс должны содержать высоты источника и приемника.
2. **Предварительная обработка:** как правило, ввод данных для МДВ такой же, как и для других общих процедур миграции. Для того чтобы получить высокое разрешение при получении изображения блоковой тектоники, ПСВМ и ПСГМ требуют сохранения, насколько это возможно, любой дифрагированной энергии, исходящей от разломов, присутствующих в данных во время шагов предварительной обработки. МДВ имеет те же требования, поскольку кинематика дуплексных волн близка к кинематике дифрагированных волн. Другими словами, МДВ не добавляет никаких дополнительных требований к предварительной обработке.

В общем, для того, чтобы выполнить сервисный проект по МДВ обработке мы должны попросить Вас предоставить нам следующее:

1. Исходные сейсмические данные в SEG-Y формате:
 - a. с введенными статическими поправками;
 - b. с введенным мьютингом;
 - c. в варианте без применения частотной и пространственной фильтрации и вариант с такой (или другой) фильтрацией, которая является оптимальной по мнению клиента,

обычно она соответствует состоянию готовности данных к пре-стек глубинной миграции;

2. Модель интервальных скоростей (куб в SEG-Y формате) объекта исследования, на котором была реализована последняя версия глубинной миграции;
3. Кубы параметров анизотропии в SEG-Y формате, если это применимо;
4. Опорные границы (в текстовых или в других стандартных форматах);
5. Результативный куб, полученный по обычной 3D глубинной миграции с использованием тех же сейсмограмм, интервальных скоростей и параметров анизотропии;

Дополнительная информация от Заказчика для МДВ, пост-обработки и интерпретации:

1. Кондиционная структурно-тектоническая карта исследуемого объекта.
2. Схема расположения существующих скважин с данными по истории их продуктивности;
 - a. Скважинные данные – отбивки горизонтов и т.д. (в текстовой табличной форме или в других стандартных форматах); Координаты скважин, инклинометрия и т.п.;
 - b. Скважинные данные – акустический каротаж (LAS файлы) и/или каротаж по другим методам;
 - c. Скважинные данные - таблицы координат узловых точек: наклоны, устье и забой скважины и т.д.;
3. Комментарии Заказчика к предоставленным данным и уточнение основных целей для обработки МДВ;

Котировки по предоставлению сервисов обработки и интерпретации: чтобы предоставить эту услугу, мы должны знать особенности сейсмических данных и геологических задач.

Шаги по QC после получения данных

Первым шагом является загрузка исходных сейсмических данных и горизонта базовой границы в рамках подготовки к выполнению расчетов по МДВ. В ходе этого процесса мы проверим, соответствует ли положение базовой границы результативному кубу ПСГМ и соответствующей скоростной модели. Кроме того, мы должны гарантировать, что фактические отметки поверхности наблюдений, примененные статические поправки и поверхность редукции данных для обработки правильно интерпретируются процедурой МДВ при расчетах полей времен. Это нужно делать с большой тщательностью, чтобы убедиться, что возможные ошибки в координатах данных не ухудшают результаты. Этот процесс будет включать в себя применение базового NMO и суммирования исходных данных для их проверки, также как и другие тесты, такие как специально для этого разработанная Кирхгоф ПСГМ, которые считаются необходимыми для того, чтобы данные были должным образом подготовлены к обработке МДВ.

Алгоритмические варианты МДВ в зависимости от сложности решаемых геологических задач

1. **МДВ во временной области:** этот вид миграции используются в условиях малых латеральных вариаций скорости для экспресс-оценки эффективности МДВ для данных геологических условий. То же самое поле скоростей, которое используется для пре-стек временной миграции может быть использовано в качестве входных данных для МДВ во временной области. Этот файл предоставляется в текстовом формате.
2. **МДВ в глубинной области:** этот основной вид миграции применяется в условиях значительного латерального изменения скорости. При этом для обработки МДВ используется

та же глубинная скоростная модель, что и при ПСГМ. Эти данные должны быть представлены в SEG-Y формате.

3. **МДВ в глубинной области для ТТI среды:** этот более сложный вид миграции применяется, когда на сейсмическое изображение субвертикальных объектов сильно влияет ТТI-анизотропия. Следующие кубы данных, которые используются в качестве входных данных: глубинная скоростная модель, наклон оси симметрии ТТI-анизотропии, параметры Томпсона ϵ и δ . Такие кубы должны быть в формате SEG-Y. Кроме того, карта глубины базовой границы должна быть увязана со скважинами. Частным вариантом анизотропной МДВ является VTI модель.
4. **МДВ на обменных волнах в глубинной области:** ЭДВ для обменных волн может быть иногда сильнее, чем для монотипно отраженных продольных волн. В этих случаях мы имеем возможность дополнительно (к описанным выше вариантам) использовать их энергию при построении сейсмических изображений суб-вертикальных границ. В целях выполнения МДВ на обменных волнах мы должны ввести V_p и V_s глубинные скоростные модели. Кроме того, карта глубины базовой границы должна быть увязана со скважинами.

Насколько точной эта глубинная модель должна быть?

Поскольку процесс ТИ уже должен быть завершен, предполагается, что уже имеется достаточно точная глубинная модель. ТТГ попытается проверить точность модели на наших тестах, но если модель покажет, что она недостаточно точная заказчик должен предоставить обновленную модель. Как для любого другого вида глубинной миграции до суммирования, ошибки в глубинной модели могут привести к ошибкам в расположении вертикальных границ на срезе куба. Следует помнить, что мы можем использовать различные виды «освещенности» дуплексными волнами одного и того же объекта с разных сторон, чтобы проверить скоростную модель. Другими словами, это возможность использовать критерии общего пространственного положения как признак правильности глубинной скоростной модели может также позволить нам улучшить оценки анизотропных параметров.

Требования к точности глубинной скоростной модели не превышают требований для обычных ПСГМ. Модель должна быть увязана с соответствующими отбивками по скважинам, что, как правило, делается в процессе ТИ.

Решаемая «Интерпретационная Задача» должна быть четко определена

Перед проведением МДВ обработки и последующего графа интерпретации предполагается, что заказчик располагает результатами традиционной интерпретации. На *блок-схеме 1* показан стандартный набор результатов, которые получаются в результате процесса ТИ. Как это часто бывает, этот процесс не дает достаточной информации для снижения риска, особенно если задача требует выделения нарушений с малым вертикальным смещением и/или систем трещиноватости. ТИ традиционно был ориентирован на получение достоверной информации о верхней и нижней границе резервуара или выклинивания платов, литологических изменений, и т.п. Были разработаны несколько стандартных методик для трассирования трещиноватости такие, как куб когерентности, атрибуты кривизны, спектральная декомпозиция и азимутальные вариации скорости и амплитуды. Все эти методы имеют ограничения в том случае, если разлом/система трещиноватости не достаточно выражена в форме границ резервуара. Иногда они могут указать, что трещиноватость, скорее всего, присутствует, но они не в состоянии точно определить ее местоположение. Для снижения экономических рисков последующего эксплуатационного бурения, требуется весьма точно определять положение систем трещиноватости. Процесс МДВ обработки и интерпретации преследует именно эту цель.

Результаты МДВИ призваны дополнить и завершить результаты ТИ. Поэтому, чтобы начать этот процесс эффективно, мы должны начать с четкого понимания результатов, достигнутых с помощью

методологии ТИ, с тем, чтобы четко определить недостающую информацию, которая необходима для снижения рисков эксплуатационного бурения до приемлемого уровня. Это означает, что мы должны понять, насколько хорошо или плохо примененная ТИ согласуется с результатами бурения, с тем, чтобы более эффективно восполнить недостающую информацию. В идеале мы должны были бы иметь информацию по производительности пробуренных скважин перед началом процесса МДВИ. Тем не менее, достаточно общепринято, что многие компании предпочитают видеть результаты "слепого теста", прежде чем предоставить эту информацию подрядчику, который утверждает, что применяет новые технологии. В этом случае мы можем начать процесс с получения "исходного" куба данных МДВ, чтобы показать, что для получения более кондиционных результатов, требуется последующий процесс МДВИ. После начального этапа приемки результатов заказчиком, в этом случае, может начаться полноценный процесс МДВИ: калибровки результатов МДВ с данными по производительности скважин.

Результаты, которые мы должны ожидать, от основного процесса МДВИ и последующей углубленной геологической интерпретации приведены на *блок-схеме 1*. Этот подход и общая методология оказались очень эффективными для значительно лучшего понимания барьеров и проводящих каналов внутри резервуара и, следовательно, для существенного снижения рисков, связанных с программой эксплуатационного бурения.

Какую роль сейсмическое моделирование играет в графе обработки и интерпретации?

В *блок-схеме 1* мы видим, что этап сейсмического моделирования, показан пунктирной рамкой. Это означает, что он не является обязательным, однако в некоторых случаях может быть весьма целесообразным.

ТТГ имеет полный набор инструментов полно-волнового моделирования, которые позволяют вычислить очень реалистичные 2D-2C или 2.5D-3C сейсмограммы для данной геометрии наблюдений и глубинной модели. Мы полагаем, что для процесса 2D моделирования мы выбираем линию поперек простирающейся структуры и мы используем ту же геометрию съемки, которая имитирует фактические данные полученные в этой области. Мы можем сгенерировать синтетические данные для профиля или площади наблюдений, а затем обрабатывать эти данные с помощью процедур 2D или 3D МДВ. Работы по моделированию могут делаться параллельно с подготовкой реальных данных для обработки МДВ и также на последующих этапах. Конкретные преимущества моделирования заключаются в следующем:

1. Исследование на геолого-геофизической модели данного объекта характеристик сейсмической записи затрудняющих или улучшающих применение обработки МДВ.
2. Тест по влиянию примененных процедур предобработки относительно возможного ущерба ЭДВ при обработке по реальным данным.
3. Мы можем оценить способность ПСВМ, ПСГМ и МДВ получать сейсмические изображения для определенных характеристик резервуара. Это позволит установить, какие технологии необходимы для достаточно надежного выделения коллекторских свойств резервуара, чтобы уменьшить риски бурения до приемлемого уровня.
4. В 2D случае мы можем оценить способность изображения одного и того же набора субвертикальных границ с двух сторон от границы. Мы также можем оценить чувствительность этих изображений к ошибкам в скоростной модели - то есть, если скорость задана не достаточно корректно, то изображения границ будут расфокусированы («расплываться» или раздваиваться). Это совершенно новая методика для проверки точности скоростной модели, используемой для глубинного изображения.

5. Мы можем оценить эффективность использования каждого из нескольких отражающих горизонтов при получении изображений субвертикальных границ с помощью МДВ. Эта информация, может помочь принять окончательное решение относительно выбора базовой границы (границ) для МДВ обработки.
6. Построение изображения МДВ по одной трассе, может помочь при выборе апертур и других параметров при МДВ обработке.
7. Если в процессе сейсмического моделирования выяснится, что МДВ, вероятно, не работает для данных условий, то клиент может на более ранней стадии прекратить проектное задание, тем самым уменьшая стоимость тестирования МДВ процесса. В связи с этим, необходимо помнить, что 3D МДВ по своей сути гораздо более мощный инструмент для построения сейсмических изображений, чем 2D МДВ.

Общее описание типов тестов для параметров МДВ, которые будут выполняться

Заказчик будет участвовать в оценке и выборе результативных кубов МДВ. При этом будут проверяться различные апертуры и другие параметры обработки МДВ. Будет проводиться оценка двух основных схем наблюдения, отражение от базовой границы а затем от субвертикальной (HV) или - наоборот (VH), и суммарный (HV + VH) для кубов МДВ. Начальный набор тестов будет запущен с помощью базовой границы по выбору заказчика. После того, как основные параметры были определены, заказчик может выбрать для проверки другие базовые границы за дополнительную плату.

Оценка "исходного" куба МДВ, роль Заказчика:

После того как первый "исходный" куб данных МДВ получен, заказчик будет привлечен к совместным работам с ТТГ. Используемая для изображения вертикальных границ ЭДВ может быть довольно слабая и в зависимости от параметров съемки и глубины иногда есть проблемы со следами 3D системы наблюдений (футпринтами) или другими артефактами миграции. На данный момент мы делаем начальную интерпретацию исходных данных куба МДВ в попытке определить, какие получаемые изображения реальны, а какие являются теми или иными артефактами. На этом этапе становится известно, какая информация полученная в процессе ТИ может быть использована для оптимизации параметров обработки МДВ в процессе итеративного повторения обработки.

Почему информация полученная на этапе ТИ может быть так важна на этапе МДВИ?

МДВ это мощный инструмент для получения информации о субвертикальных гео-телах. Как и в любом процессе получения детальных сейсмических изображений, тем больше мы можем ввести ограничений относительно включения в результаты МДВИ ошибочной информации, тем более надежным будет конечный результат.

Основными объектами для МДВ являются субвертикальные неоднородности в карбонатных и терригенных коллекторах. В каждом конкретном случае эти субвертикальные границы могут быть соответствовать границам геологических блоков, таких как стенки соляного купола, рифовых построек, разломов, в том числе нарушений небольшой амплитуды или зонам трещиноватости. Априорная информации полученная из предыдущих работ может позволить нам лучше классифицировать эти субвертикальные границы.

Первый пример: если мы должны трассировать зону трещиноватости, которая может соответствовать типу неструктурных ловушек нефти и газа, необходимо сравнить полученные по МДВ результаты с результатами трассирования разломов по стандартной структурной интерпретации. В тех случаях,

когда эти данные соответствуют друг другу, очень маловероятно что в соответствующий зоне может быть тектоническая ловушка. Такие зоны, как правило, не имеют достаточно герметичного экрана для накопления углеводородов. Если эти зоны видны только на результатах МДВ, то существует высокая вероятность того, что это заполненные проницаемые резервуары в зонах трещиноватости,.

Во многих случаях существующая история продуктивности (априорная информация) может подтвердить связь этих зон высокой проницаемости разломов/трещин с результатами МДВИ. Может быть так, что аномалии по каротажу и результаты гидро-испытаний лучше коррелируют с результатами МДВИ, чем с результатами ТИ. Таким образом, может быть достигнут более высокий уровень уверенности в способности МДВ предсказывать уровни производительности в районах, удаленных от уже пробуренных скважин.

Второй пример: опубликованный Лукойл пример представляет собой исследование системы разломов, разрушающих покрышку основного резервуара. Стандартная интерпретация этой системы позволяет идентифицировать систему трещиноватых зон в резервуаре, их направление и генезис. Эти зоны разломов имеют корни в нижележащей «разгружающей» системе разломов. Результаты МДВ могут быть использованы для контроля и проверки всех предыдущих результатов ТИ, так как любой разлом большой амплитуды, выделенный по стандартной интерпретации, должен быть также виден на результатах МДВ.

Наличие априорной информации об акустических свойствах базовой границы позволяет рассчитать АВА эффект для целевых субвертикальных объектов, который может быть использован для оценки их свойств.

Отсутствие априорной информации может также негативным образом сказаться на окончательных результатах МДВИ. Например, отсутствие информации об ориентации основных разломов может привести к ошибочной интерпретации из-за сильных футпринтов системы 3D наблюдений. Информация об ориентации основных разломов в общем случае может быть получена с уверенностью из процесса ТИ. В этих рамках можно получить подробную информацию о более тонких системах трещиноватости в процессе МДВИ.

Для того, чтобы быть уверенным в МДВИ, нужно иметь информацию, относящуюся к производительности скважин, по крайней мере, двух скважин: лучшей и худшей скважин на месторождении с полным набором скважинных исследований по трещиноватым зонам. Это необходимо для различения между высокочастотными помехами и протяженными линеаменами на результатах МДВ при определении уровня сигнал/шум.

Может ли процесс МДВИ быть использован для улучшения результатов ТИ?

Реализация Кирхгофа для МДВ предоставляет различные возможности для обработки данных. Это позволяет нам рассматривать данные с различных точек зрения при получении и проверке результатов. Кроме того, мы используем информацию, присутствующую в обычных сейсмограммах, которая в процессе ТИ, по определению, ослабляется и отфильтровывается. Этот факт представляет собой тип вторичной проверки некоторой информации получаемой в процессе ТИ. Например, все разломы, которые были ранее определены должны быть идентифицированы в процессе МДВИ.

На блок-схеме 1, после того как первоначальная МДВИ завершена, задается вопрос «изменилась ли значительно глубинная модель?». Если ответ на этот вопрос «да», то может быть необходимо повторить обычную обработку ПСГМ. В частности, мы полагаем, что МДВ имеет потенциал для улучшения оценки анизотропных параметров глубинной модели, которая может существенно повлиять на качество изображения ПСГМ.

Процедуры пост-обработки ДВМ, которые дают возможность получать лучшие результаты МДВИ

В результате процедуры миграции дуплексных волн (МДВ) на интерпретацию подаются данные, осложненные низко-, средне- и высокочастотными шумами, сопоставимыми по интенсивности амплитуд с полезным сигналом.

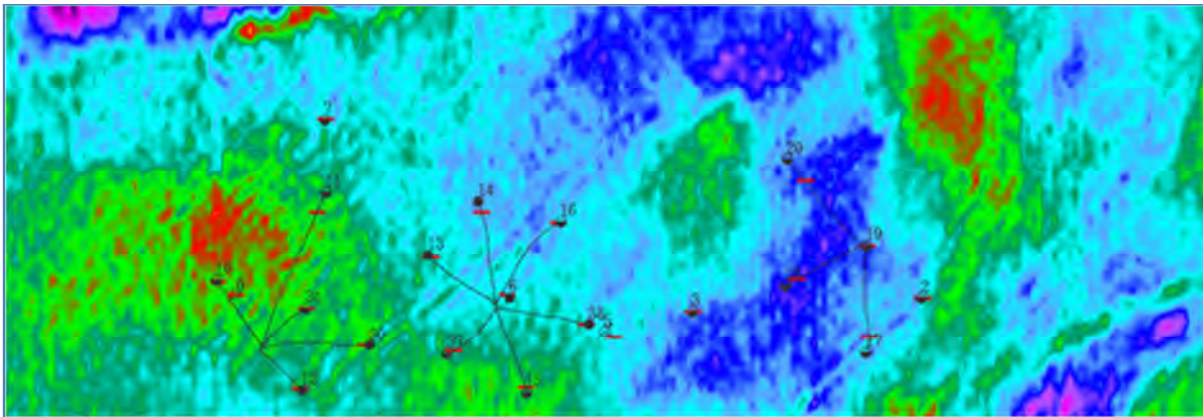


Рис.1 Пример среза сырого куба МДВ с наложением траекторий скважин

Основное отличие шумовых компонент от полезных отражений состоит в их форме:

- *низкочастотная компонента*, содержащая в себе информацию об амплитудах опорной субгоризонтальной границы, характеризуется крупномасштабной, плавно изменяющейся по площади гетерогенностью.
- *среднечастотная компонента*, отражающая следы расстановки (*футпринты*). Пространственная форма этого шума характеризуется линейно вытянутым коррелируемым сигналом, который параллелен линиям наблюдений;
- *высокочастотная составляющая* характеризуется пространственно небольшими сигналами, которые, как правило, выглядят случайно расположенными и симметричными по форме.

Для освобождения полезного сигнала, связанного с линейными субвертикальными неоднородностями, от всех видов вышеперечисленных шумов, переданные с миграции данные необходимо провести через процедуры пост-обработки. Эти процедуры включают обычную фильтрацию и выделение (экстракцию) полезного сигнала из фоновых шумов, которое основано на (автоматизированном) распознавании характеристик, связанных с формой объектов, их пространственном размером и распределением.

На этапе фильтрации исходный куб сглаживается. Алгоритм сглаживания и количество трасс для осреднения подбираются в ходе перебора и визуального анализа. Количество трасс осреднения определяется точкой выхода на асимптоту соотношения между их количеством и процентом приращения изменения разностных полей.

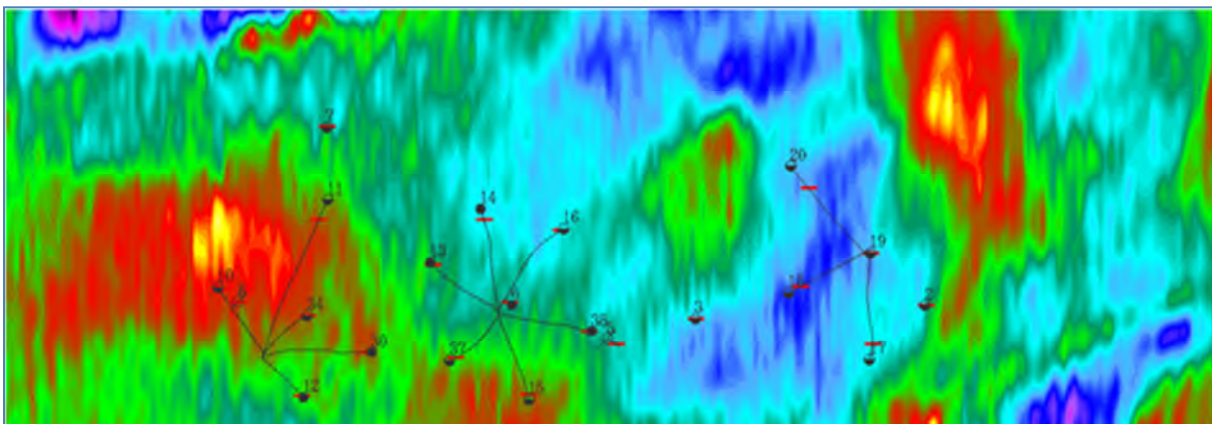


Рис.2 Срез сглаженного куба представляющий длинно волновую (низкочастотную) часть после фильтрации. В этом случае он также содержит *футпринты* (вертикально вытянутые формы).

Сглаженный куб вычитается из исходного для получения разностного куба. С помощью этой процедуры исходные данные освобождаются от низко- и среднечастотной составляющей.

Разностный куб перед процедурой экстракции подвергается минимальному сглаживанию для консолидации остаточного дисперсного шума.

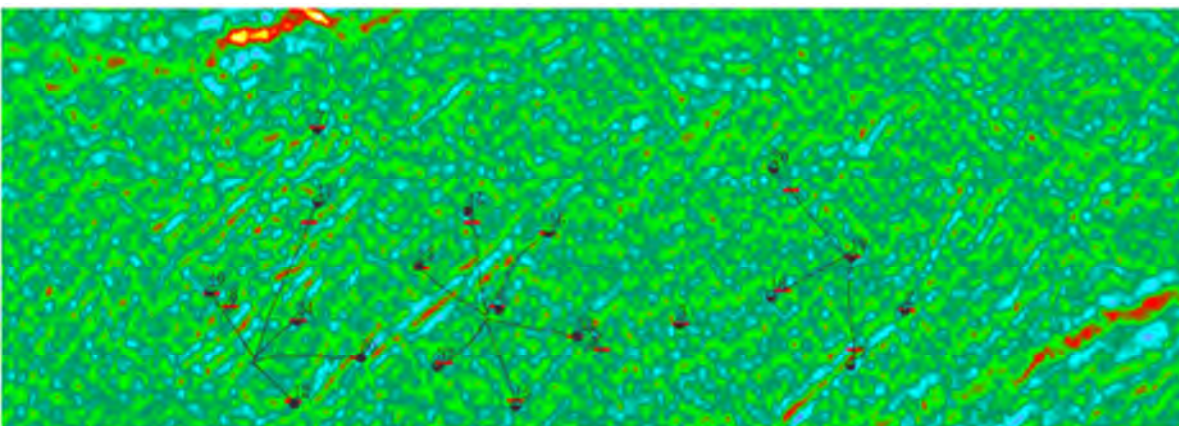


Рис.3 Срез разностного куба: исходный куб *минус* сглаженный куб.

Процедура экстракции заключается в выделении из волнового поля протяженных амплитудных аномалий, путем освобождения его от мелких изометричных разрозненных аномалий. На этом этапе описание волнового поля происходит в терминах объемных тел – **вокселей** (*voxels*). *Вокселем* является объемное геометрическое тело, центром которого является один узел объемной (3D) решетки (куба), а его размеры определяются расстоянием между узлами решетки (отсчетами).

В ходе экстракции из волнового поля должны быть извлечены связанные объемные тела. Связность определяется типом соприкосновения вокселей друг с другом. Участки, где *воксели* образуют непрерывные агломерации, называются **гео-телами**.

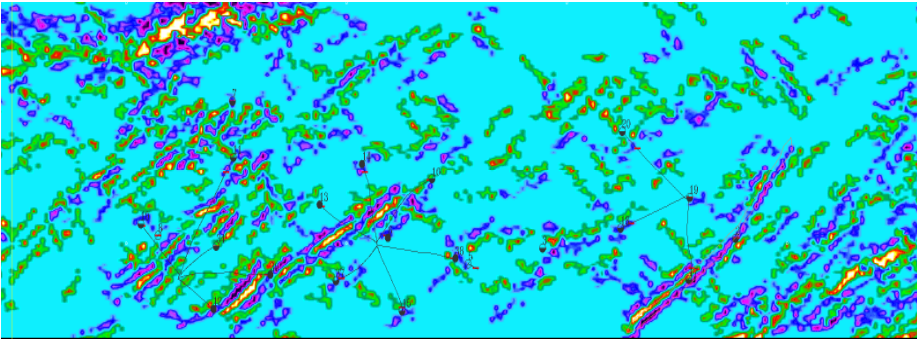


Рис.4 Пример экстрагированных гео-тел.

Более детально это описано в *Руководстве по пост-обработке МДВ-для Интерпретатора*.

Как мы можем интегрировать результаты МДВИ с результатами ТИ?

Результаты интерпретации миграции дуплексных волн МДВИ могут быть представлены в виде карт, на которые могут быть дополнительно добавлены информация по ГИС наряду с результатами традиционной интерпретации. Скважинные данные предоставляют информацию по ориентации трещиноватости измеряемой методами ХМАС и FMI, что можно проиллюстрировать стрелками на карте. Кроме того, скважинные данные предоставляют среднее значение производительности до и после стимуляции и значение плотности трещин на керне/ FMI, однако эта информация является менее полезной в связи с условиями измерений и неспособностью уверенно различать открытые и закрытые разломы.

Такие результаты ТИ, как контурная карта поверхности и подошвы резервуара, трассирование разломов по стандартным временным или глубинным разрезам, разграничение литологических границ - рифовых флангов, каньонов, каналов, барьеров, водонефтяных контактов, всю полезную информацию, которые могут быть проверены или улучшены в результате процесса МДВИ.

Как мы можем коррелировать результаты МДВИ с данными по производительности скважин с тем чтобы классифицировать проницаемость систем трещиноватости?

Первый шаг в классификации/ранжировании аномалий МДВ является идентификация системы разломов, которые имеют значительные вертикальные смещения, которые также обычно выявляются в процессе ТИ. Эти системы разломов также обычно выделяются с помощью таких средств, как анализ куба когерентности, и они должны проявить себя как достаточно сильные аномалии на кубе результатов МДВ.

Процесс МДВИ позволяет трассировать эти системы разломов и трещиноватости и на следующем уровне интерпретации определить, какие из этих систем выступают в качестве проводников флюидов и какие являются экранирующими. Основное различие между проводящими зонами разломов и залеченными зонами заключается в числе сопряженных фаз, которые наблюдаются на данных куба МДВ. Было показано, эмпирически, что если сейсмическая аномалия представлена двумя или более сопряженными положительными и отрицательными фазами, то она является зоной открытого разлома. Если на карте видна только одна отстоящая от других фаза, то, скорее всего, это либо зона залеченного разлома/трещиноватости или очень слабая трещиноватость.

Третий этап ранжирования основан на скважинных данных. Для начала, может быть построен график для сравнения амплитудных значений сейсмических изображений МДВ со значениями производительности скважин. Если линейная зависимость легко достигается за счет использования значительного количества статистических выборок и/или в силу качества измерения гидродинамических параметров, то ранжирование может быть сделано, основываясь только на этом

графике. Если количество доступных скважин недостаточно, и качество измерения давления на них небольшое, то ранжирование может быть сделано только на качественном уровне и количество рангов не может превышать число участвующих скважин.

Идентификация проницаемости с использованием МДВ

1. Значения пористости не могут быть непосредственно получены из амплитуды дуплексных волн. Это достигается только с помощью получения значений импеданса (так как амплитуда отраженных волн представляет свойства отражающей поверхности, а импеданс представляет свойства слоя). Таким образом, чтобы получить свойства зоны требуется провести количественную оценку свойств целевой зоны. Для этого может дополнительно потребоваться комплекс работ, включающий инженерное моделирование резервуара.
2. Параметр проницаемости по скважинным данным может быть использован для калибровки результатов МДВ на этапе углубленной геологической интерпретации. Однако следует учесть что:
 - a. Проницаемость, измеренная непосредственно из образцов керна относится только к проницаемости микро-трещин и не имеет прямого отношения к наблюдаемым по сейсмике крупномасштабным зонам проницаемых трещин.
 - b. Обычно керн не собирается из этих типов зон и даже если это будет сделано, обычно – это разрозненные кусочки. Измерительное оборудование, как правило, построено таким образом, что оно работает на всей выборке керна, поэтому эти инструменты меряют только проницаемость матрицы и микро-трещины.
 - c. Зоны проницаемости вокруг скважин обычно рассчитываются на основании модели резервуара, куда входят многие параметры. Используемые в таких расчетах уравнения, помимо величины расхода и пластового давления, учитывают вязкость жидкости, и, самое главное, эффективную толщину проницаемого интервала, который является наименее определенным параметром при работе с исследуемыми проводящими коридорами.
 - d. Оценки эффективной ширины проницаемых зон могут также потребовать расчеты по модели резервуара. Они могут быть от нескольких метров (в отдельных случаях, используя данные бурения) до ста метров (по гео-моделированию и другим геологическим оценкам).
 - e. Следует заметить, что параметр эффективной ширины проницаемых зон используется в знаменателе упомянутого выше уравнения (модели резервуара). Поэтому, разделить разность давлений на основе оценки толщины в несколько метров, вы получите значение проницаемости, в несколько раз больше чем, если разделить разность давлений на основе оценки толщины сто метров. В связи с этим, на первом этапе, более правильно калибровать результаты МДВ с помощью коэффициента продуктивности скважины, поскольку формула имеет только два измеряемых параметра: расход и давление.
 - f. Кроме того, есть несколько вопросов, требующих внимания, поскольку трещиноватый резервуар очень не определен в своем поведении. В условиях высокого давления зоны разломов/трещиноватости могут обваливаться и значение расхода может сильно измениться в зависимости от текущего режима. Лучше всего ориентироваться не на одно значение, а на среднее значение и вычесть его из кривой Отношения Производительности Притока.

Как Collaborgate Интернет-система позволяет обеспечить необходимый технический уровень коммуникации с заказчиком?

ТТГ построил компьютерный кластер в Калгари, Альберта, Канада. Эта система имеет следующие возможности, доступные для клиентов и всех сотрудников ТТГ:

1. Все технологии ТТГ для прямого моделирования и обработки МДВ.
2. Надежный и защищенный доступ в Интернет по заданным логинам и паролям пользователей.
3. Пакет 3D интерпретации и визуализации, который поддерживает графические ускорители дисплей, так что пользователь даже с ограниченными возможностями доступа в Интернет в любой точке мира может легко просмотреть результаты.
4. Интерактивные совместные сессии между персоналом ТТГ и нашими клиентами в любой точке мира в любое время по мере необходимости 24 x 7.
5. Полностью защищенная передача данных по FTP.