

Усовершенствованные микросейсмологические технологии для нефте-газовой энергетики:

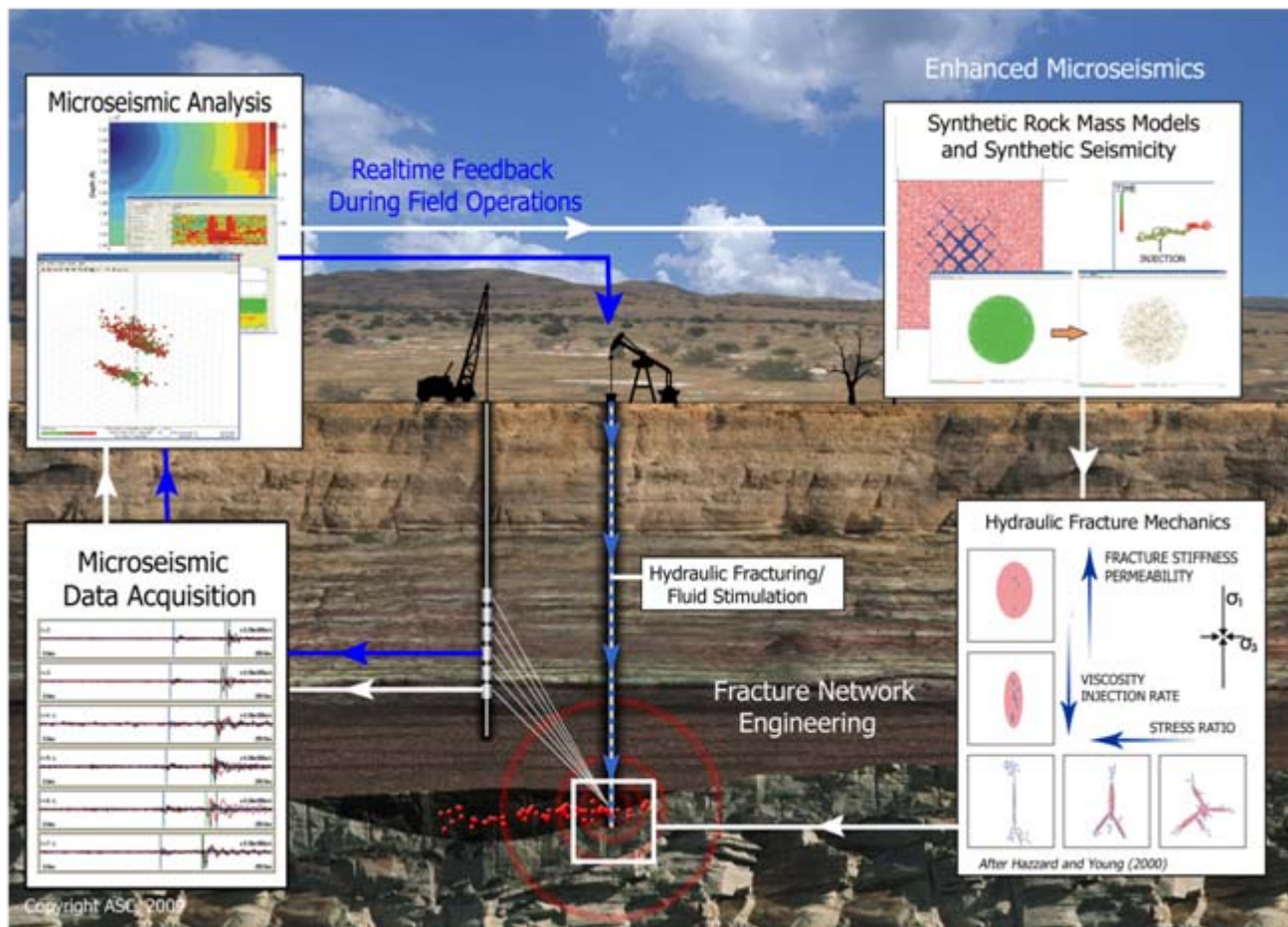
Интегрированная интерпретация гидродинамической реакции
стимулированных пластов залежей

доктор W.S. Pettitt, доктор J.M. Reyes-Montes и профессор R.P. Young



Интегрированное исследование гидродинамической реакции

- Распределение сейсмичности может быть использовано для определения ориентации разлома, объема и устойчивости.
- Геометрия трещин, характеристики разлома и эволюция разрастания может быть коррелирована с сетями трещин в PFC моделях «Синтетических породных масс» (SRM).
- Расчет параметров микросейсмичности источника по моментальным снимкам характеризует вид разлома по мере разрастания растрескивания.



ОБОБЩЕННОЕ ОЗНАКОМЛЕНИЕ

- ASC обеспечивет широкий спектр услуг по микросейсмическому мониторингу гидроразрыва пласта (ГРП), нефте- и геотермальных наблюдений - начиная с контроля качества первичных данных, полная их обработка, и заканчивая нашей программой «Улучшенная Микросейсмика» (Enhanced Microseismics).
- ASC является лидером в исследовании и развитии микросейсмических технологий:
 - Frac Manager* - интегрированный комплекс управления микросейсмическими (МС) данными с углубленной их обработкой и методами визуализации информации гидроразрыва;
 - WaveBuilder* - высококлассные, трехмерные скоростные модели для разворота позиции и полного исследования волновых форм;
 - InSiteDB* - технологии основанные на базе данных для сети получателей комплектов данных в режиме реального времени и результатов пост-обработки;
 - Enhanced Microseismics* - интегрированная интерпретация гидродинамической реакции горных пород посредством корреляции структуры сети трещин, образованных при гидроразрыве, с геомеханическими моделями «Синтетических породных масс» (SRM)^;
 - Training Courses – полнообъемный курс по микросейсмологии, включающий лекции и практическое обучение работе в программе InSite (2-4 дневные курсы);

^SRM – технологии выполняемые в сотрудничестве с Itasca Consulting Group Inc.

* Торговая марка заявлена (патент)

Варианты обработки МС данных

Тип	Описание	Вариант работы	Исходные требования
Контроль качества первичных данных	Обзор комплекта первичных данных третьей стороной в программе InSite	Обзор информации третьей стороны, исходящий из: <ul style="list-style-type: none"> • обработки конфигурации проекта; • калибровки ориентации геофонов; • оценки и калибровки скоростной модели; • анализа качества волновых форм и уровней шума, по необходимости; • МС позиций в единичной стадии, используя автоматическую обработку и проверку вручную по необходимости; • интерпретация и доклад. • редставлен в стандартном шаблоне контроля качества по ISO9001:2008 	Данные о конфигурации работы; <ul style="list-style-type: none"> • информация об использованных геофоне (третьей стороны) и скоростной модели; • чувствительность геофонов, по необходимости; • субкомплект потоков первичных данных о волновых формах и описание формата; • Обработанные третьей стороной результаты; • Заключительные рапорта третьей стороны.
Полная пост-обработка	Полная пост-обработка комплекта данных с использованием стандартных методов и алгоритмов для микросейсмики ГРП.	Конфигурация проекта; <ul style="list-style-type: none"> • калибровка ориентации геофонов; • оценка и калибровка скоростной модели; • расшифровка формата информации о волновых формах и сбор МС событий; • анализ качества волновых форм и уровней шума; • обработка позиций и размеров МС источников (авто-обработка с проверкой вручную по необходимости); • анализ размеров с расстоянием обзора; • соотношения микросейсмики с рабочими данными; • пространственные и временные МС наблюдения; • интерпретация параметров первого порядка: длина крыла разлома, степень глубины, ориентация. 	<ul style="list-style-type: none"> • Данные о конфигурации • чувствительность геофонов; • потоки сырых данных о формах и описание формата; • рабочая информация.

Варианты обработки МС данных

Тип	Описание	Вариант работы	Исходные требования
DIY-MS	самостоятельная МС обработка, представление и управление данными	<p>ервичные InSite модули, рекомендуемые для ГРП обработки, включают:</p> <ul style="list-style-type: none"> • данные, волновые формы, углубленный анализ волновых форм, расположение, углубленный анализ расположения, скорость, механизм; • дополнительные модули включают: Frac Manager (конфигурация проекта, управление, построение графиков), Streamer Leach (для сбора сейсмических событий), ExComms (для преобразований кода пользователя), дистрибьютор-пользователь (InSiteDB). 	
Enhanced Microseismics	Интегрированная интерпретация гидродинамической реакции горных пород посредством корреляции структуры сети трещин, образованных при гидроразрыве, с геомеханическим и моделями «Синтетических породных масс» (SRM) – в сотрудничестве с Itasca Consulting Group Inc., используя «Коды Потока Частиц» (PFC).	<ul style="list-style-type: none"> • Анализ качества данных для усовершенствованной МС обработки; • анализ параметров источника, статистика механизма источника и индекс скопления; • анализ структуры сети трещин по статистике сейсмике; • относительное расположение для определения пространственных связей; • разработка геомеханических моделей SRM для создания искусственных сетей трещин и микросейсмике; • корреляция SRM с наблюдаемой сейсмикой для исследования физического процесса как результата ГРП-стимулирования; • суммированная интерпретация, определяющая конфигурацию проекта, характеристики резервуара, местное поле напряжения, метод ГРП-стимулирования и геомеханику формации. 	<ul style="list-style-type: none"> • Данные о местоположении источника и его параметры — из пост-обработки микросейсмике, выполненной ASC, или из существующих данных третьей стороны; • углубленное изучение относительного местоположения и амплитуды потребует пост-обработку данных силами ASC; • информация о местном поле напряжения, характеристики резервуара и пласта, необходимые для SRM моделирования; • информация о технике исполнения ГРП-стимулирования с использованием рабочих данных по ГРП.

Frac Manager

Frac Manager — это программный модуль, преобразующий МС технологии для стимулирования скважин в ASC InSite Сейсмическом Процессоре:

- Комплекс управления обеспечивает ввод\вывод данных геодезической съемки скважин, гамма-и акустического каротажа, калибровочных пристрелов и данных обработки;
- Суммарный поток мониторинга в режиме реального времени или комплекты обработанной информации, начиная с обработки калибровочных пристрелов и до МС визуализации с графиками зависимости «скважина-этап»;
- Углубленная обработка волновых форм и расположения источника при низком сигнале: шумная среда;
- Калибровки ориентации геофонов в полной трёхмерной среде с наблюдением скважины в любой ориентации;
- Оценка скоростного спектра по регистрам акустического каротажа и калибровочных пристрелов посредством многослойного медиума;
- Графики МС визуализации, адаптированные для многоэтапного ГРП, с супер-подгонкой эллипсоида.

Frac Manager — Комплекс управления

Скважинный обзор, обеспечивающий управление несколькими скважинами различного типа;

Поэтапный обзор отображает данные на каждой стадии и процесс обработки.

The screenshot displays the Frac Manager software interface. At the top, there are input fields for 'Global Coordinates Reference Position' (Northing, Easting, Depth) and a 'Depth Label' dropdown set to 'Depth'. The main area is divided into three sections:

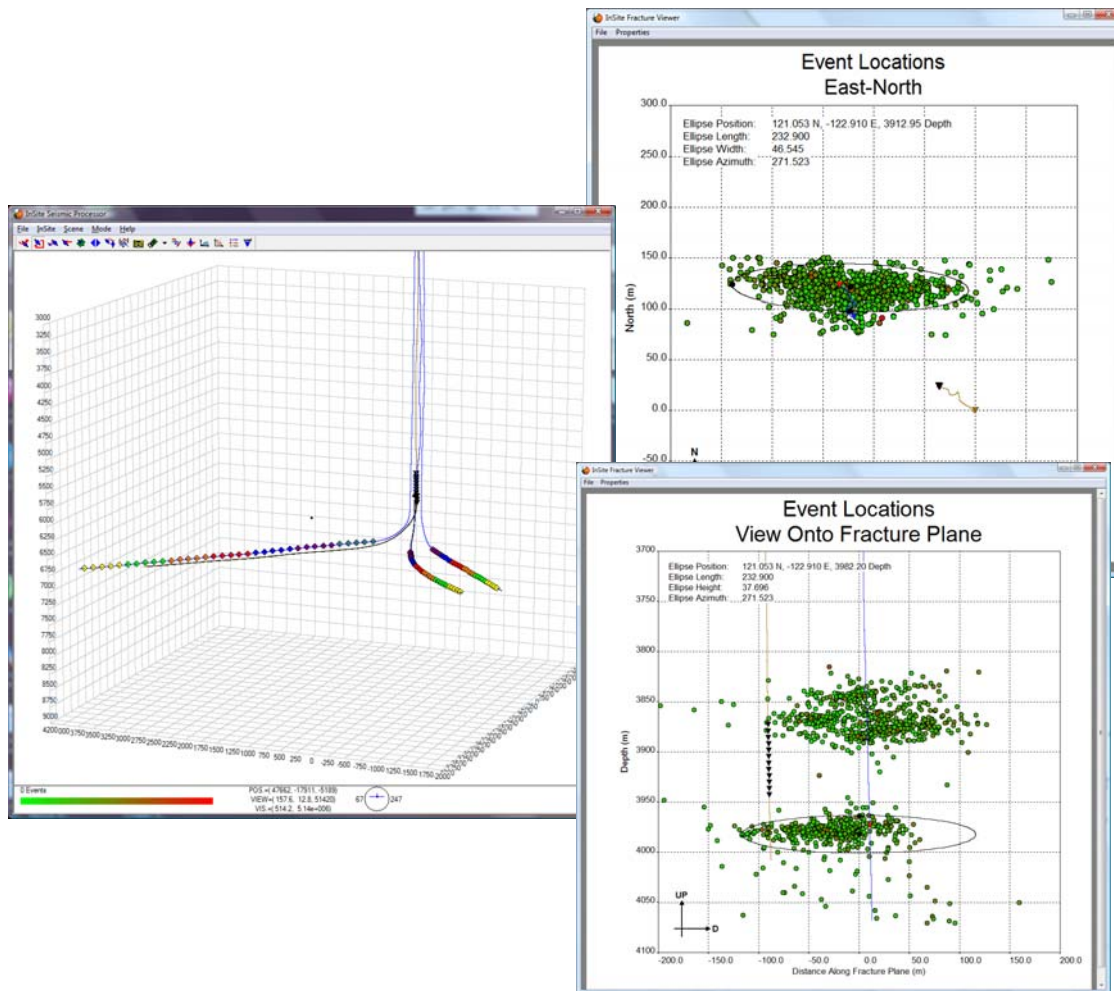
- Well Data View:** A tree view on the left showing a hierarchy of wells (FracWell1, FracWell2, FracWell3) and their components (Well Trak, Calibration Shots, Receiver Arrays, Well Logs, GR).
- Gamma Ray Log:** A table on the right showing 'Well Log Data' with columns for MD, Northing, Easting, Depth, and Data.
- Stage Data View:** A tree view at the bottom left showing 'FracWell3' broken down into Stage 1, Stage 2, Stage 3, and Stage 4, each with sub-items like 'Calibration (Reference) Receiver Array', 'Calibration Shots', and 'MS (Rotated) Receiver Array'.

At the bottom right, there is a table with columns: Chan, Inst, IAxis, North, East, Depth, IN, IE, ID, and AverageResiduz. The table contains 17 rows of data.

Chan	Inst	IAxis	North	East	Depth	IN	IE	ID	AverageResiduz
17	1	Z	20.2	-3.14	5698	-0.00658	0.0165	-1.000	0.0
18	1	X	20.2	-3.14	5698	0.182	-0.983	-0.0174	0.500
19	1	Y	20.2	-3.14	5698	0.983	0.182	-0.00346	0.500
20	2	Z	20.5	-3.96	5748	-0.00658	0.0165	-1.000	0.0
21	2	X	20.5	-3.96	5748	0.996	0.0871	-0.00512	4.00
22	2	Y	20.5	-3.96	5748	-0.0870	0.996	0.0170	4.00
23	3	Z	20.8	-4.93	5798	-0.00619	0.0193	-1.000	0.0
24	3	X	20.8	-4.93	5798	0.772	-0.636	-0.0171	1.50
25	3	Y	20.8	-4.93	5798	0.636	0.771	0.0110	1.50
26	4	Z	21.1	-5.89	5848	-0.00619	0.0193	-1.000	0.0
27	4	X	21.1	-5.89	5848	0.470	0.883	0.0141	6.00
28	4	Y	21.1	-5.89	5848	-0.883	0.469	0.0145	6.00
29	5	Z	21.4	-6.86	5898	-0.00619	0.0193	-1.000	0.0
30	5	X	21.4	-6.86	5898	0.793	0.609	0.00684	0.500
31	5	Y	21.4	-6.86	5898	-0.609	0.793	0.0191	0.500
32	6	Z	22.4	-8.88	5947	0.0	0.0	-1.00	0.0
33	6	X	22.4	-8.88	5947	1.00	0.0	0.0	0.0
34	6	Y	22.4	-8.88	5947	0.0	1.00	0.0	0.0
35	7	Z	23.7	-11.3	5997	-0.0230	0.0441	-0.999	0.0

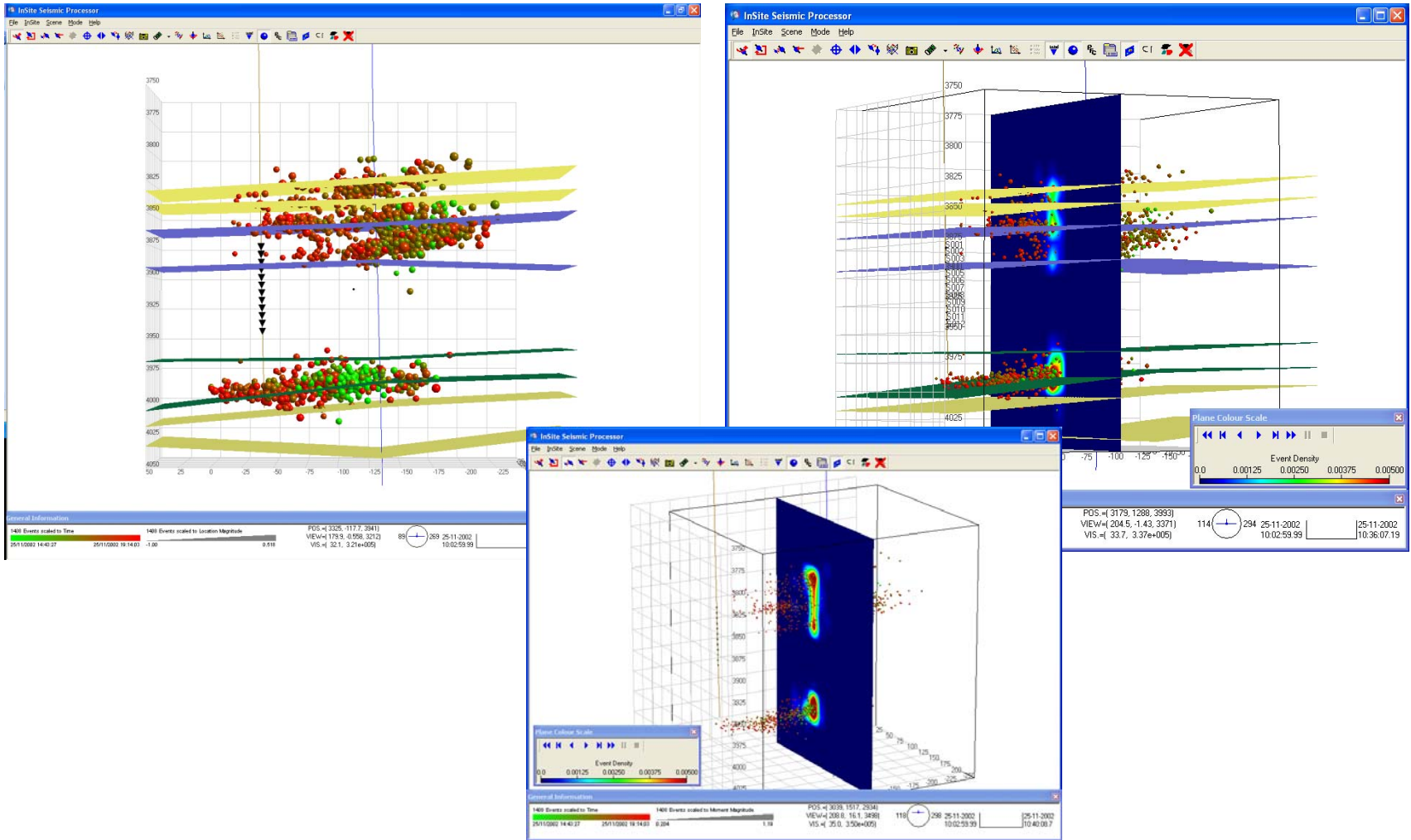
Buttons at the bottom: OK, Frac Processing Properties, Cancel.

Frac Manager — MC визуализация



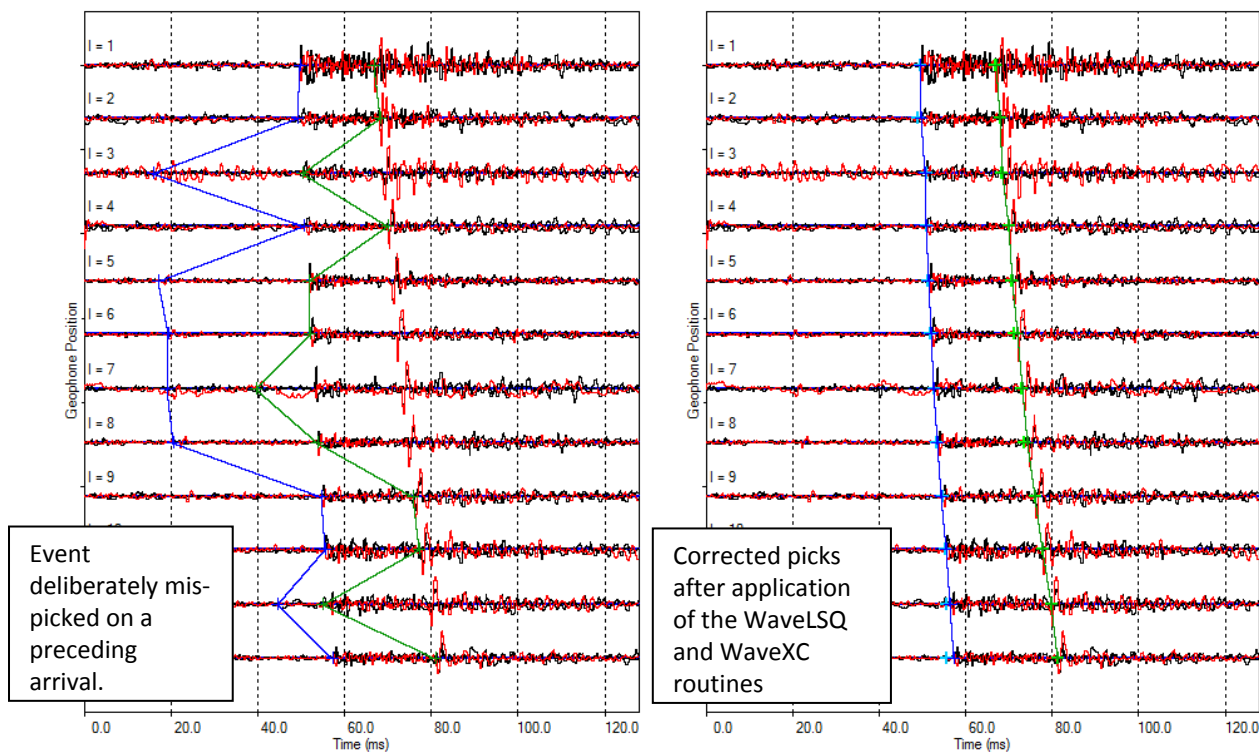
- Трехмерное изображение системы мониторинга: перфорационные выстрелы, геофоны и MC изображены в разных цветах на разных этапах;
- Двухмерные графики с эллипсоидом, адаптированным для быстрой интерпретации информации;
- Вид расположений MC событий на плоскости разрыва;
- Расположение MC событий. Северо-восток.

3D MC визуализация



Frac Manager — Волновые формы

- Выходное изображение для представления волновых форм, пересекающих линейную цепь инструментов;
- Накладка времени пробега выделяет позиции отборов и теоретическое время прибытия (для определенно расположенного МС события, местоположения выстрела и выбранной пользователем трехмерной позиции). Существенно для процесса отбора, а также для утверждения скоростной модели.

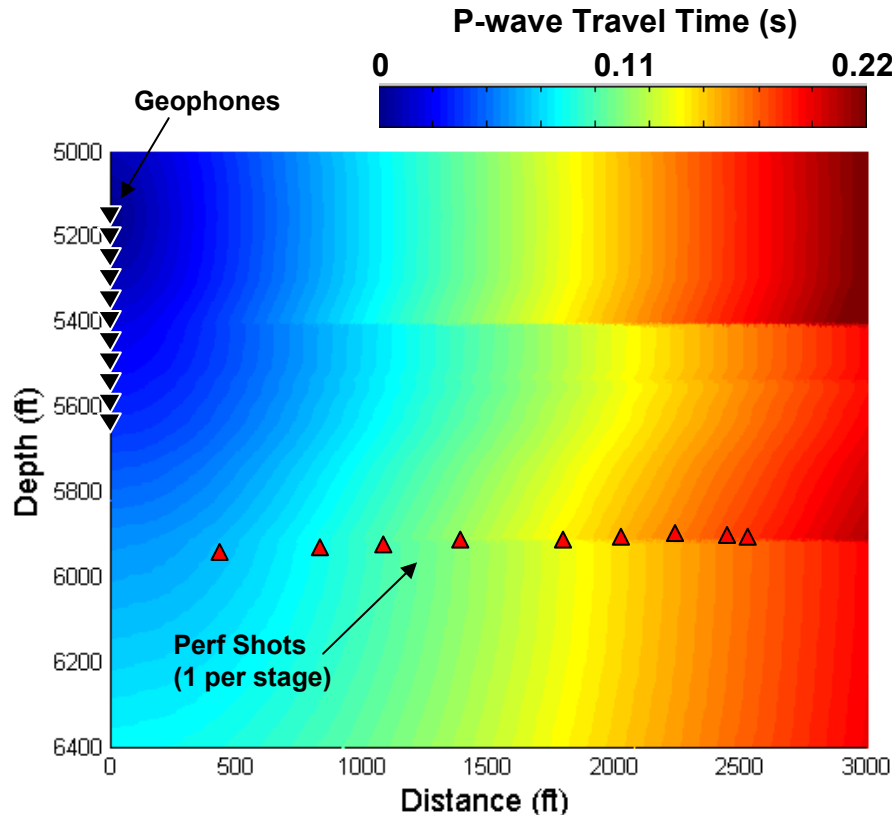


«Оптимизированные Отборочные Алгоритмы» для поправки неточных отборов (посредством подгонки кривой к более мелкой шкале — WaveLSQ) и уточнение фаз прибытия по признакам сходства волновых форм (укладка волн и итеративная кросс-корреляция — WaveXC). Событие преднамеренно выбрано неверно на предшествующем прибытии. Исправленные отборы после применения WaveLSQ и WaveXC.

WaveBuilder

- ASC разрабатывает новые алгоритмы обработки месторасположений источников и изучения амплитуд микросейсмике посредством комплексных средств как в энергетической, так и в горнодобывающей промышленности;
- ASC издал два алгоритма как часть InSite Усовершенствованного Позиционного Модуля:
 - Wavebuilder обеспечивает конструкцию волнового фронта посредством комплексных средств и усовершенствуется в полнообъемный 3D метод, способный осуществлять передовое моделирование времени пробега и амплитуд;
 - Tian — трассировщик лучей осуществляет быстрое двухточечное трассирование лучей в многослойном изображении для применения в ГРП в реальном времени.
- ASC объединяет алгоритмы InSite с суперкомпьютерными кластер-технологиями с целью оптимизации обработки данных посредством 3D медиа и параллельной обработки нескольких событий.

WaveBuilder – 11 слоёв



Время пробега для Р-волн, идущих на верхний геофон на примере спектра ГРП мониторинга.

Сетка времени пробега произведена в InSite Wavebuilder, как части Усовершенствованного Позиционного Модуля.

P-wave travel time (s) – время пробега Р-волн (сек)

Geophones - геофоны

Depth (ft) – глубина (фут)

Distance (ft) – расстояние (фут)

Perf shots (1 per stage) – перфорационные выстрелы (1 на этап)

InSite DB

InSiteDB – это новейший выпуск ASC модуля дистрибьютор-пользователь:

- Использует новейшие Microsoft SQL технологии для обеспечения дистанционной базы данных МС событий, параметров конфигурации и данных обработки;
- Коммуникации и графические функции объединены в рамках InSite Сейсмического Процессора для применения в реальном времени и пост-обработке;
- Автоматический перенос позиций МС событий и других параметров источников (включая волновые формы по необходимости) в модели InSite на дистанционных компьютерах сети — таким образом позволяя пользователям дистанционный доступ к МС результатам практически в режиме реального времени;
- Способы централизованного управления данными о волновых формах события, осуществляемого группой геофизиков, обрабатывающих или пересматривающих этот же набор данных;
- Способы хранения данных, полученных от внешних воздействий (рабочее давление, концентрация и т.д.), которые затем могут быть продемонстрированы в реальном времени на графике в InSite с гистограммами микросейсмике МС события;
- Способы внедрения клиентом собственного программного обеспечения (real-time или off-line) в сетевой обзор наборов МС данных (Набор Преобразования Программного Обеспечения предоставляется).

InSiteDB Сеть получателей

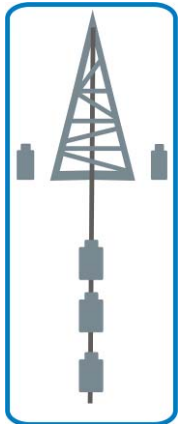
ASC лидирует революционный процесс в управлении сейсмической информацией путём усовершенствования алгоритмов и систем программного обеспечения, которые способны обрабатывать обширные наборы данных с различных мониторинговых систем и предоставлять пользователям специальный доступ к информации.

ASC разрабатывает методы параллельной обработки обывтий в 3D скоростных моделях с использованием новейших суперкомпьютерных кластер-технологий. InSiteDB предоставляет каркас для базы данных, на котором основывается работа компьютерной сетей.



InSiteDB операции Скважина — Площадка

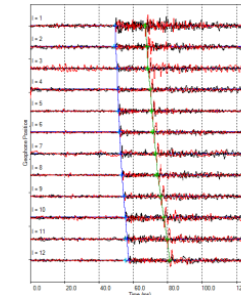
Непрерывный поток данных из наблюдательной скважины;



InSite фильтрующий интерфейс для сбора информации;



ПК для получения и накопления данных;



Рабочие данные и полевые инженеры;

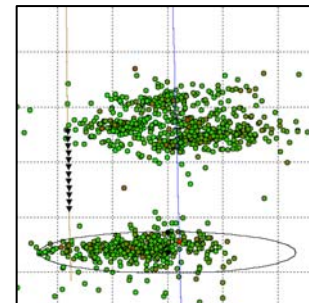


InSite ПК для обработки данных;

Позиции, параметры источника и волновые формы;



InSiteDB дистанционная база данных;



Верхнее руководство, заказчики и другие заинтересованные стороны.

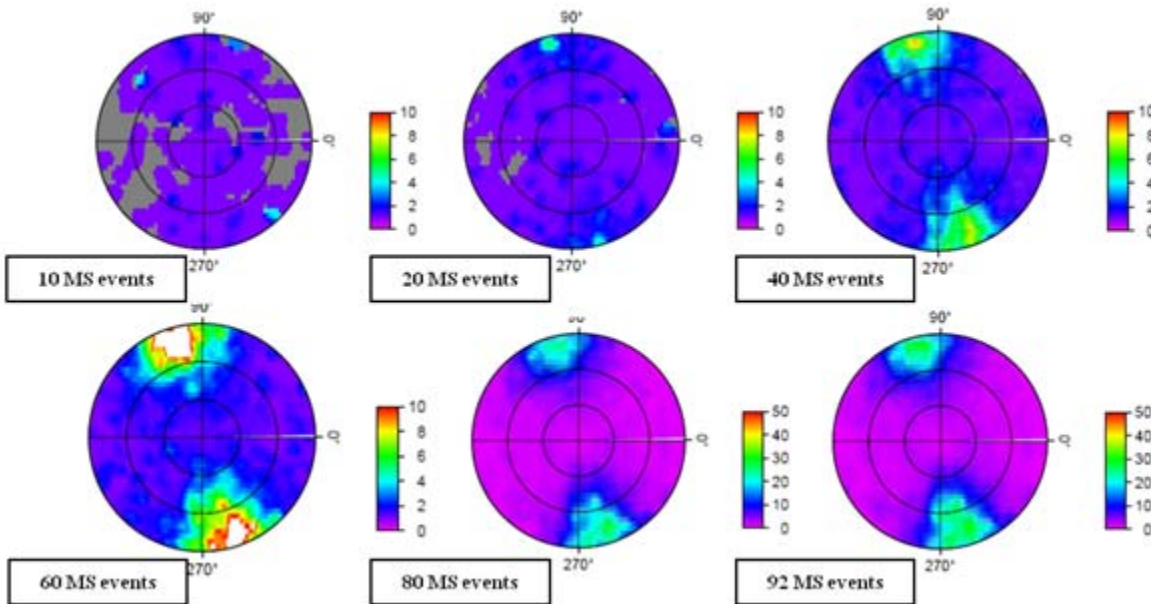
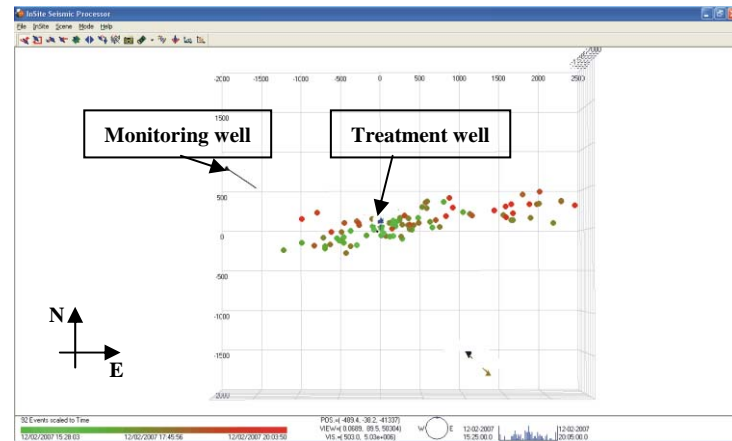
Enhanced Microseismics

Программа Enhanced Microseismics нацелена на развитие стандартных микросейсмических технологий «за пределами точек» и придерживается успешной обрабатывающей стратегии, разработанной для горнодобывающей промышленности:

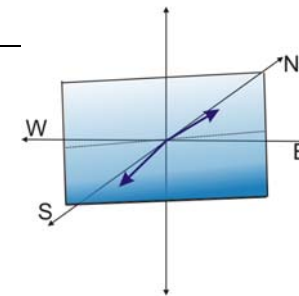
- Исследование структур сети трещин (пространственное распределение, ориентация, устойчивость и разрастание) посредством анализа сейсмической статистики, используя параметры и расположения источника;
- Исследование «индекса скопления» (степени переплетения трещин) и статистики механизма источника по соотношению амплитуд P/S;
- Относительное расположение (с использованием методов «мастер-событие» и «двойная разница») для определения пространственных связей;
- Разработка геомеханических моделей SRM в сотрудничестве с Itasca Consulting Group Inc., используя «Коды Потока Частиц» (PFC) для создания искусственных сетей трещин и микросейсмике.
- Корреляция SRM и наблюдаемой сейсмике по эквивалентным микросейсмическим параметрам для исследования физических процессов, вызванных ГРП.
- Интегрированная интерпретация, определяющая конфигурацию проекта, характеристики резервуара, местное поле напряжения, метод ГРП-стимулирования и геомеханику формации.

Развитие ориентации трещин в результате стимуляции

MS events – микросейсмические (МС) события
 Monitoring well – наблюдательная скважина
 Treatment well – рабочая скважина



Развитие ориентации трещин, выявленное из наблюдаемых МС событий. Планы распределения плотности на фиксированной плоскости с привязкой к полюсам (градусы отчисляются с востока против часовой стрелки)

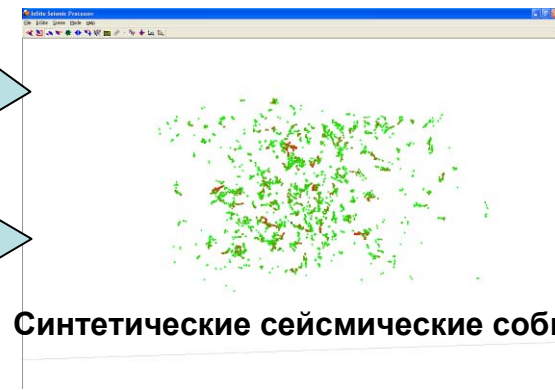
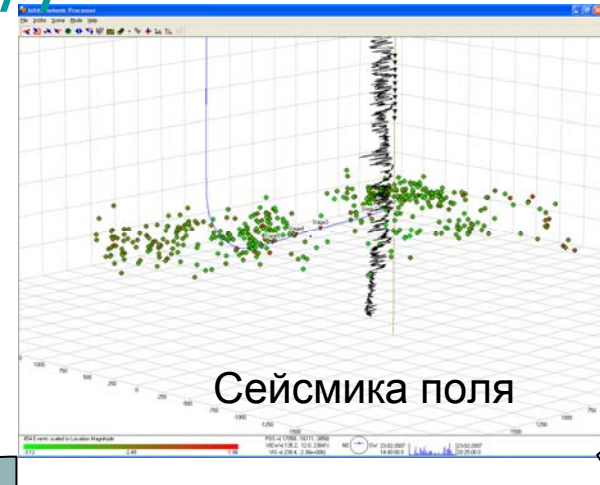
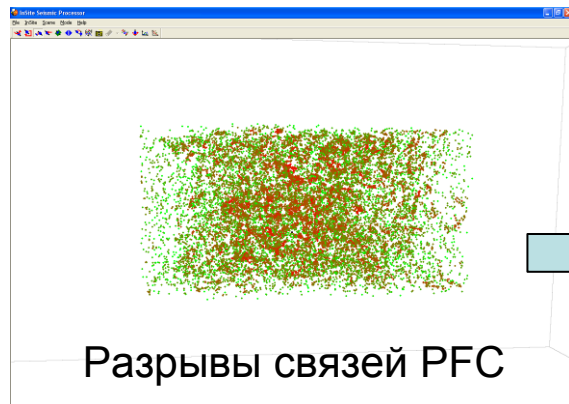


Наглядная ориентация плоскости

Enhanced Microseismics

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ SRM

- Разрывы связей PFC, производимые в различных тестах на моделях «Синтетических породных масс» (SRM), скапливаются в синтетические сейсмические события.¹
- Это позволяет прямое сравнение с микросейсмикой, зарегистрированной в ходе различных работ на площадке.
- Такой же структурный анализ, которому подвергались MC события, применён к серии SRM моделей, сконструированных для воспроизводства условий в каждой геомеханической сфере.



¹Reyes-Montes, J.M., Pettitt, W.S. and R.P. Young (2007) Validation of a synthetic rock mass model using excavation induced microseismicity. In Eberhardt, E. Stead, D. Morrison, T. (eds) *Rock mechanics: meeting society's challenges and demands. Vol 1: fundamentals, new technologies and new ideas. Proc. 1st Canada-US Rock Mechanics symp. Vancouver, Canada 27-31 May 2007.* Taylor & Francis, London