

Опыт регистрации и обработки сейсмических данных, полученных в процессе производства гидравлического разрыва пласта

Муртаев И.С., Зоммер Б.К., Савин В.Г., Брыксин И.В., ОАО "Хантымансийскгеофизика", г. Ханты-Мансийск, Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

Введение

Искусственный гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одним из наиболее действенных мероприятий, которые проводятся на разрабатываемых нефтяных месторождениях для увеличения темпов отбора нефти и более полной выработки месторождения. Данные цели достигаются за счет двух основных факторов:

1. Увеличение трещиноватости околоскважинного пространства и улучшение его проницаемости способствует более интенсивному притоку нефти из пласта в скважину через уплотненную прискважинную зону;

2. Развитие техногенной трещиноватости на значительные удаления от скважины способствует вовлечению маловыработанных участков залежи (таких, как останцы и целики) в процесс активной нефтедобычи.

При проектировании работ по гидравлическому воздействию на целевой интервал используется весь спектр данных о скважине и геологической среде: используются данные каротажа, проводятся различные испытания (Minifrac - МиниГРП и др.), которые позволяют более правильно смоделировать процесс ГРП и задать технологические параметры его проведения. По результатам проведения ГРП также проводится подробный анализ, направленный на оценку эффективности работ. Но даже с учетом всей информации о проведенной операции ГРП не представляется возможным определенно сказать о направлении и, главное, о протяженности зоны техногенного воздействия.

В качестве широко применяемой методики непосредственной визуализации ГРП выступает сейсмический мониторинг, проводимый из нескольких соседних скважин. В данной методике существуют значительные минусы и ограничения:

- при обработке 3-х компонентных сейсмических данных бывает очень сложно отождествить для одного и того же события вступления продольной (Р) и поперечной (S) волн;
- для полноценного проведения работ необходимо создание симметричной системы наблюдений, т.е. использование 3-х соседних скважин и, соответственно, их приостановка. Сюда включаются затраты за простой скважин и риски связанные с потерей скважины.

В ОАО "Хантымансийскгеофизика" (2004г.) была разработана методика микросейсмического мониторинга, проводимого на земной поверхности в процессе проведения гидравлического разрыва пласта. Основной целью проведения работ является получение инфор-

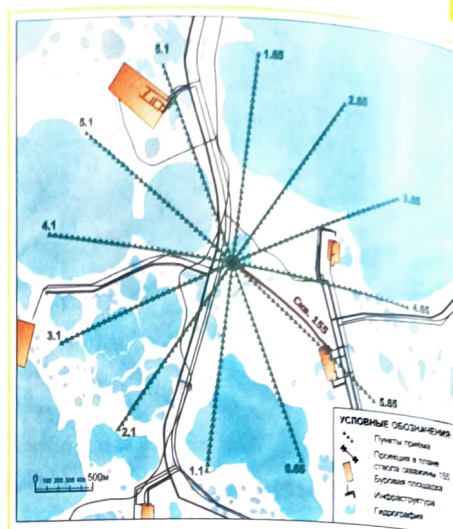


Рис. 1. Типичная схема системы наблюдений при микросейсмическом мониторинге.

мации о направлении и площади распространения зон растрескивания коллектора.

Привлекательность данной методики заключается в отказе от приостановки соседних скважин и в возможности получения предварительного результата (построение сейсмически активных зон пласта) в режиме реального времени.

Методика поверхностных микросейсмических наблюдений была опробована на ряде объектов при проведении 9-ти ГРП в Ханты-Мансийском и Суггутском районах Ханты-Мансийского автономного округа.

Методика полевых наблюдений

Осреднённые параметры методики проводившихся полевых работ (см. рис.1):

- **система наблюдений:** радиальная (приём сейсмических колебаний проводится на поверхности по пяти-шести линиям приёма, которые пересекаются в точке проекции пластопересечения на дневную поверхность);
- **радиус приёмной расстановки:** 1600м;
- **расстояние между пунктами приёма (ПП):** 50м;
- **общее число регистрируемых каналов:** 325 (при пяти линиях приёма) и 390 (с применением шести линейной приёмной расстановки);
- **глубина изучаемого пласта:** 2100м. - 2700м.;
- **смещение точки пластопересечения от устья (в плане):** 800-1100м;

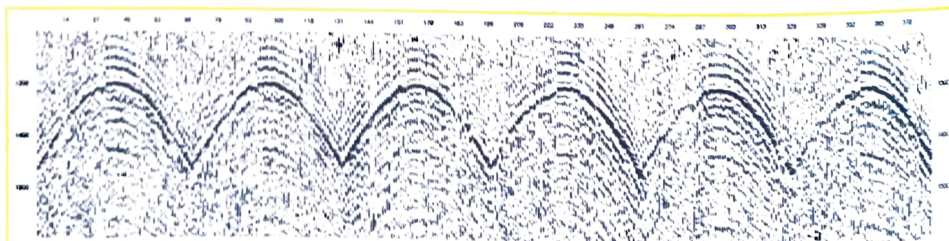
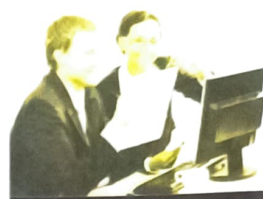


Рис. 2. Суммарная сейсмограмма, полученная по результатам перфорационных работ.



ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

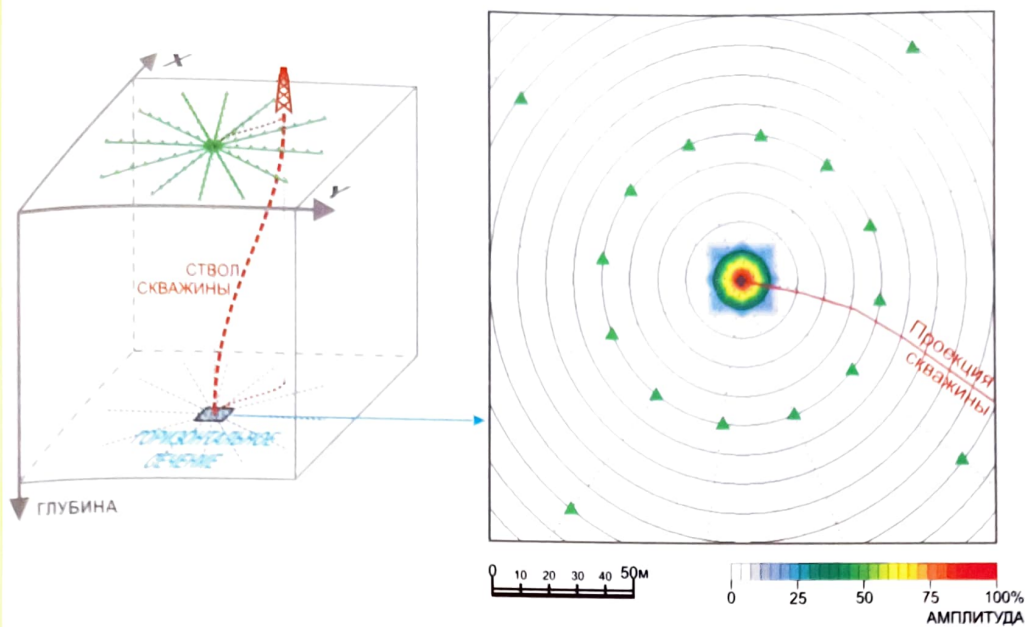


Рис. 3. Выделение сейсмически активных зон по сейсмограмме от одной из перфораций (центральная точка - пластопересечение; окружности проведены через 10 метров в плане)

- сейсмостанция: Sercel-388;
- длина непрерывной регистрации: 64 сек. (с двухсекундными перерывами на запись информации);
- шаг дискретизации: 2 мсек;
- время, охватываемое регистрацией: 2-4 часа.

В комплекс работ по сейсмическому мониторингу процесса ГРП, неотъемлемой частью являются полевые наблюдения, направленные на получение статических поправок за пункт приёма. В качестве стандартного решения данной задачи, проводится сейсмическая регистрация перфорационных работ, которые проводятся в целевом интервале скважины и предшествуют проведению ГРП. Кроме нахождения необходимых статических поправок за пункт приёма, на данном этапе проводится привязка пластопересечения в волновом поле и уточняется модельный скоростной закон. Необходимо отметить, что использование перфорации для определения статических поправок за ПП является наиболее точным и простым способом их корректного определения. Кроме того, сейсмограммы отражают именно то прохождение лучей, которое необходимо для точного позиционирования глубинных источников. На рис. 2 представлена суммарная сейсмограмма (с применением амплитудных и частотных балансировок), полученная по результатам десяти перфораций.

Результаты микросейсмического мониторинга

При регистрации работ по перфорации обсадной колонны производится калибровка алгоритма обработки микросейсмических данных. На рис. 3 показан результат выделения сейсмических источников по сейсмограмме зарегистрированной от одной из перфораций.

На втором этапе, при проведении работ по сейсмическому мониторингу процесса ГРП, регистрация информации начинается заблаговременно до начала непосредственной закачки (за ~15 минут), производится непрерывно (Minifrac, Frac) и длится в течение часа после окончания нагнетания. При этом общее время регистрации достигает 4 часов, а объём накопленных сейсмических данных исчисляется первыми десятками гигабайт.

На рис. 4 показаны технологические графики проведения ГРП в сопоставлении с выявленной сейсмической активностью пласта по данным обработки мониторинга. Здесь следует обратить внимание на то, что сейсмическая активность по окончании процесса ГРП ослабевает, но не прекращается. Данное явление объясняется релаксацией пластового давления, нарушенного в процессе проведения ГРП, приводящей к образованию и схлопыванию отдельных трещин, что влечёт за собой высвобождение сейсмической энергии. В литературе данное явление описывается как сейсмическая эмиссия. Процесс эмиссии сейсмической энергии может

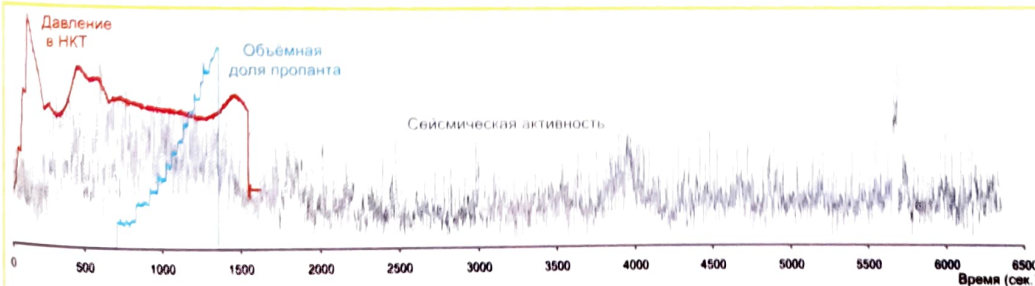


Рис. 4. Технологические графики проведения ГРП в сопоставлении с сейсмической активностью, приуроченной к окрестностям пластопересечения.

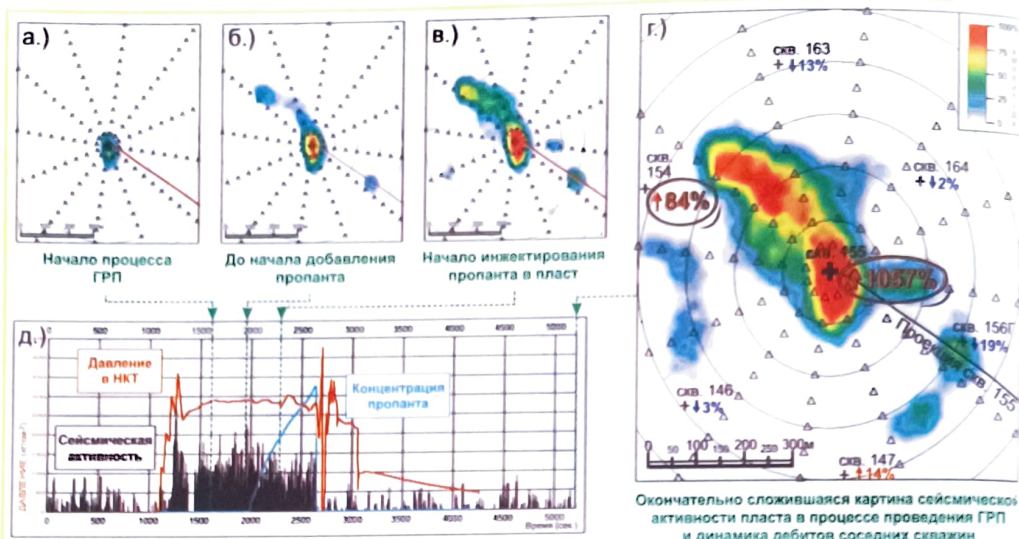
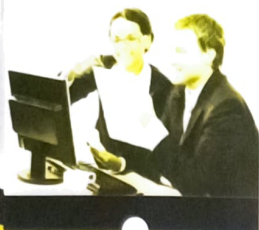


Рис. 5. Результаты обработки данных наземного микросейсмического мониторинга проведённого на скважине 155 в процессе ГРП (север Сургутского свода, 2004г.)

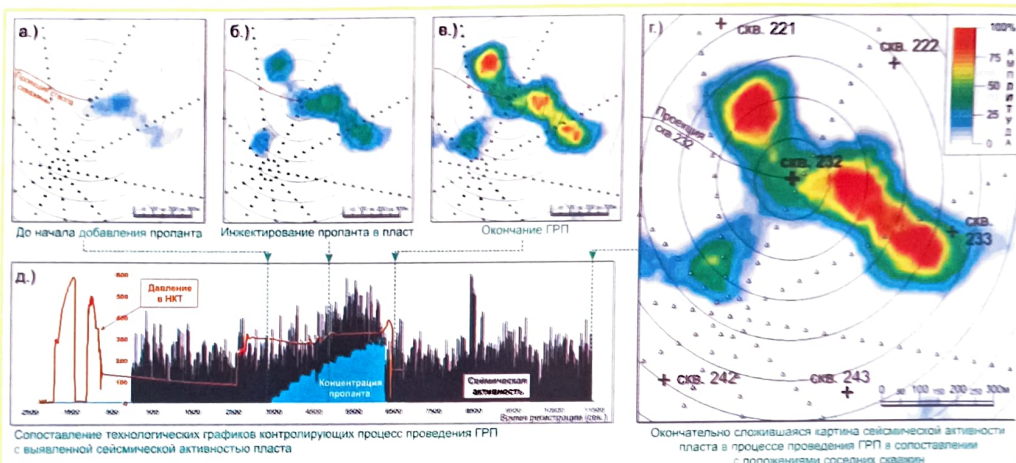


Рис. 6. Результаты обработки данных наземного микросейсмического мониторинга проведённого на скважине 232 в процессе ГРП (Приобское месторождение, 2005г.)

длиться в течение до нескольких суток, т.е. до полного восстановления динамического равновесия в геологической среде, а активная область может достигать протяжённости до тысячи метров. Однако, наиболее существенные процессы происходят в первые часы. Наблюдение эффектов эмиссии сейсмической энергии после проведения ГРП позволяет в более полной мере оценивать зону техногенного воздействия на целевой интервал.

На рисунке 5 представлены результаты обработки данных наземного микросейсмического мониторинга ГРП в скважине на севере Сургутского свода. Регистрация данных началась за 18 минут до начала ГРП:

Рис. 5.а. Первые 8 минут после начала нагнетания (закачено 28 м3).

На начальной стадии проведения ГРП сейсмически активная зона имеет довольно локальное развитие - до ~50м в южном направлении;

Рис. 5.б. Через 15 минут после начала закачки (закачаный объём 53 м3).

На момент времени до начала добавления пропантa сейсмически активная зона стремительно развивается в северо-западном направлении на удаление ~350м;

Рис. 5.в. Через 20 минут после начала закачки (закачаный объём 70 м3).

С началом закачки пропантa в пласт более уверенно начинает подтверждаться сейсмически активная зона, развитая в северо-западном направлении на удаление ~350м;

Рис. 5.г. По прошествии 43 минут после останова закачки, 70 минут после начала работ (общий закачаный объём 95 м3).

Наблюдение всего цикла ГРП, включая регистрацию эмиссии сейсмической энергии после проведения работ, наиболее полно описывает зону техногенного воздействия. После проведения операции ГРП в скважине 155 был проведён анализ дебитов соседних скважин (за 1,5 месячный период до и после даты ГРП). Дебит 5-ти соседних скважин изменился в пределах (-19% ; +14%) и лишь в одной скважине 154, расположенной на северо-западе дебит увеличился на +84%. Динамика дебитов соседних скважин объективно подтверждает развитие трещины на значительное удаление в северо-западном направлении.

Интенсивность выделенных аномалий сейсмической активности пласта наиболее вероятным образом отображает степень новообразованной трещиноватости (развитие сети каналов), а результаты обработки данных наземного микросейсмического мониторинга позволяют увидеть в динамике процесс гидравлического разрыва пласта.

На рисунке 6 представлен другой пример результатов обработки данных наземного микросейсмического мониторинга ГРП, проведённых на вновь пробуренной скважине Приобского месторождения (2005г.):

Рис. 6.а. Первые 14 минут после начала нагнетания геля, до начала добавления пропанта (общий закачанный объём 74 м³);

Уже на начальной стадии ГРП наблюдается обширная сейсмически активная зона, развитая на удаление ~400м в юго-восточном направлении. Данное обстоятельство объясняется поздним началом регистрации - через 13 минут после окончания МиниГРП (MiniFrac), при котором был закачан гель в объёме 20м³.

Рис. 6.б. Через 40 минут после начала закачки (общий закачанный объём 188 м³);

С началом продавливания пропанта в пласт интенсивность сейсмической активности усиливается и начинают более уверенно прорисовываться основные области развития техногенной трещины в юго-восточном (~400м) и северо-западном (~250м) направлениях, а также менее интенсивные сейсмические проявления в юго-западном направлении (~300м).

Рис. 6.в. Через 65 минут после начала закачки (общий закачанный объём 280 м³), окончание ГРП;

По окончании воздействия на целевой интервал выделена довольно обширная зона сейсмической активности пласта, развитая по трём направлениям от скважины: юго-восточная (~400м), северо-западная (~250м) и юго-западная (~300м).

Рис. 6.г. Через 148 минут после начала закачки или спустя 90 минут после окончания процесса ГРП;

На основе регистрации эмиссии сейсмичес-

кой энергии в первый час после проведения ГРП была получена более полная картина техногенного воздействия на целевой интервал. При совмещении карты сейсмической активности пласта с пластопересечениями соседних скважин становится более понятной логика развития трещин:

основная трещина, развитая в юго-восточном направлении на удаление ~400м, остановилась, достигнув соседней добывающей скважины 233;

второе крыло основной трещины, выявленное в северо-западном направлении (~250м) и второстепенная трещина (~300м на юго-запад), развивались по ослабленным зонам, направленным на скважины 221 и 242, соответственно.

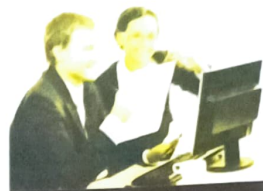
Высокая корреляция выявляемой сейсмической активности пласта с технологическими графиками проведения ГРП, а также привлечение независимых данных по дебитам соседних скважин позволяет говорить об объективности получаемой информации при обработке данных микросейсмического мониторинга.

Заключение

1. При проведении ГРП возникает сложная пространственная система трещин протяжённостью до нескольких сот метров.

2. Микросейсмический мониторинг ГРП позволяет получать новую объективную информацию о структуре разрывных нарушений месторождений углеводородов и каналах фильтрации пластовой жидкости.

3. На базе этой информации о структуре коллектора можно развивать новые технологии контроля разработки месторождений и повышения нефтеотдачи.



Встречи на Волге

Саратов / 9-11 сентября / 2008



СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ОРГКОМИТЕТ ГЕОТЕХ-2008

Адрес: 410019, Саратов, ул. Крайняя 129
Тел.: (8452) 64-14-32; факс.: (8452) 64-14-32
e-mail: turlov@skbsp.ru http://www.skbsp.ru

ОАО «СКБ сейсмического приборостроения» и Саратовское региональное отделение межрегиональной общественной организации «Евро-Азиатское геофизическое общество» приглашают на традиционный осенний сбор профессионалов: производителей и пользователей геофизической аппаратуры, представителей производственных, разведочных, промысловых и научных организаций, который назначен на 09-11 сентября 2008 г. в Саратове.

Мы будем рады встретить на Волжских берегах наших постоянных и новых участников и предоставить им возможность для выступлений с докладами, широкого обмена мнениями, демонстрации образцов своих технических и технологических достижений. В планах конференции предусмотрена культурная программа и знакомство с Саратовом.

Целевой сбор на участие в конференции составляет 3000-00 руб. за одного участника от Российских организаций и 10000-00 руб. за участие зарубежных фирм и их представительств. Проведение конференции и проживание участников планируется в профилактории «Сокол». Перечисление целевого сбора будет производиться безналичным перечислением по выставленному на основании заявок счету.

Заявки на участие в конференции и тезисы докладов просим направлять в Оргкомитет конференции до 20.08.2008 г. по факсу: (8452) 64-14-32 или (8452) 27-21-01 и электронной почте: turlov@skbsp.ru. В заявке просим на бланке организации в произвольной форме указать: Ф.И.О. участников, должность, темы докладов и выступлений, необходимая площадь на выставке оборудования, номер в гостинице (1но-местный, 2х-местный, п/люкс, люкс), необходимость встречи на вокзале и аэропорту.