

Применение наземного микросейсмического мониторинга для контроля качества ГРП

■ Александров С.И., Мишин В.А., ООО «Викосейс», г. Москва

■ Буров Д.И., ООО «Газпром георесурс», г. Москва

Эффективность операций гидроразрыва пласта (ГРП) напрямую зависит от соответствия фактической геометрии создаваемых трещинных зон и достигаемого фильтрационного режима прогнозным параметрам, заложенным дизайном ГРП, а также от возможных негативных сценариев при выполнении ГРП. Этим определяется актуальность применения мониторинга для оценки качества выполнения операций ГРП, рассматриваемого ниже на основе опыта работ на нефтегазоконденсатных месторождениях Западной Сибири.

О микросейсмической технологии.

Из опыта нефтегазовых сервисных компаний, разрабатывающих технологии контроля качества ГРП, в настоящее время наиболее успешно эта задача решается с помощью микросейсмического мониторинга. Это видно из сравнения различных методов инструментального контроля геометрии ГРП, приведенных в таблице 1.

Микросейсмика позволяет определять геометрию гидроразрыва пласта на достаточно больших расстояниях от места наблюдения, а также получать

▼ Табл. 1. Сравнение различных методов контроля качества операций ГРП

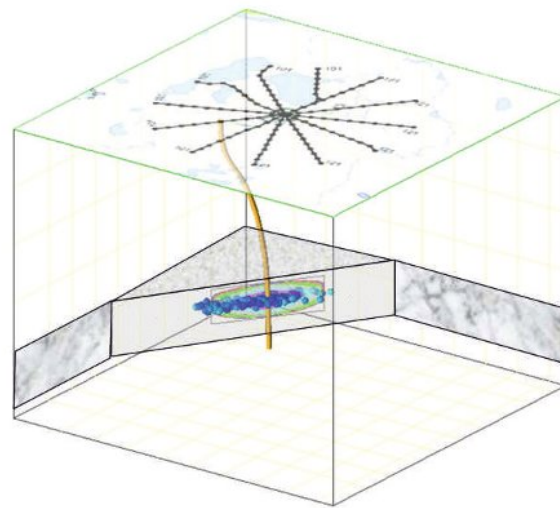
Метод диагностики	Контролируемые параметры трещины				Диапазон
	Азимут	Высота	Длина	Асимметрия	
Скважинный микросейсмический мониторинг					Дальний
Наземный микросейсмический мониторинг					Дальний
Наклонометры					Приствольный
Кросс-дипольный акустический каротаж					Приствольный
Изотопный маркер					Приствольный
Термокаротаж					Приствольный
Моделирование трещины					Дальний
ГДИС					Дальний
Трейсерные исследования					Дальний

Высокая достоверность
 Средняя достоверность
 Низкая достоверность
 Невозможно определить

диагностические 3D изображения в процессе образования и развития разрыва. Этим рассматриваемый метод существенно отличается от акустических методов, применяемых для оценки азимута разрыва вблизи ствола скважины ГРП, и других методов, показанных в таблице 1. Как видно из таблицы, микросейсмические технологии обладают преимуществами, заключающимися в более высокой надежности определения большинства геометрических параметров. Поэтому работы по технологии микросейсмического мониторинга ГРП являются актуальными.

Суть рассматриваемого метода заключается в регистрации сейсмозмиссионных процессов, сопровождающих образование трещинной зоны ГРП. Технология основана на использовании специальных средств: методики непрерывных наблюдений, оборудования и программного обеспечения [Александров и др., 2012]. Она успешно применяется длительное время и позволяет получать данные для оперативной коррекции дизайна ГРП, минимизировать риски и оптимизировать увеличение отбора углеводородов при вовлечении в разработку трудноизвлекаемых запасов [Maxwell et al., 2001].

Для регистрации глубинного микросейсмического излучения используются как скважинные, так и поверхностные наблюдения [Александров и др., 2012, 2015]. В России наибольшее распространение получили более дешевые наземные наблюдения с использованием площадных сейсмических расстановок [Буров и др., 2012]. Такие системы наблюдений были использованы при мониторинге ГРП коллекторов углеводородов верхненеокомского комплекса на нефтегазоконденсатных месторождениях Западной Сибири. Результаты этих работ рассматриваются в данной статье.



▲ Рис.1. Общая схема наблюдений наземного микросейсмического мониторинга ГРП.

Общая схема наблюдений приведена на рис.1, где показаны расположение скважины ГРП, зоны гидроразрыва и поверхностной (радиальной) сейсмической расстановки.

В зоне трещины ГРП показаны ее геометрия по дизайну (со стандартной раскраской по прогнозной толщине трещины) и рой микросейсмических источников, инициированных возникновением разрыва. Последние представляют собой источники сейсмической эмиссии («микросейсмических тресков») в зоне воздействия на пласт. Эмиссия вызвана изменением энергетического баланса вследствие изменения напряженно-деформированного состояния пород при образовании разрыва.

Для обнаружения и локализации источников глубинного микросейсмического излучения применялось специальное программное обеспечение, разработанное в ООО «Викосейс» на основе алгоритмов адаптивной сейсмозмиссионной томографии с техникой высокого разрешения и усовершенствованных алгоритмов обнаружения слабых сигналов на фоне интенсивных помех [Александров и др., 2012].

Технологические риски и задачи мониторинга.

Объем обработок скважин методом ГРП на месторождениях Западной Сибири свидетельствует о его интенсивном промышленном применении. Однако наряду с очевидным эффектом имеются примеры неуспешности применения метода. Под этим понимаются аварийные «стопы», обводнение пластов, отсутствие запланированного увеличения добычи после ГРП и т.д. В связи с этим, наряду с традиционными задачами определения простирания и размеров трещин ГРП, ставятся следующие задачи мониторинга качества и технологических рисков:

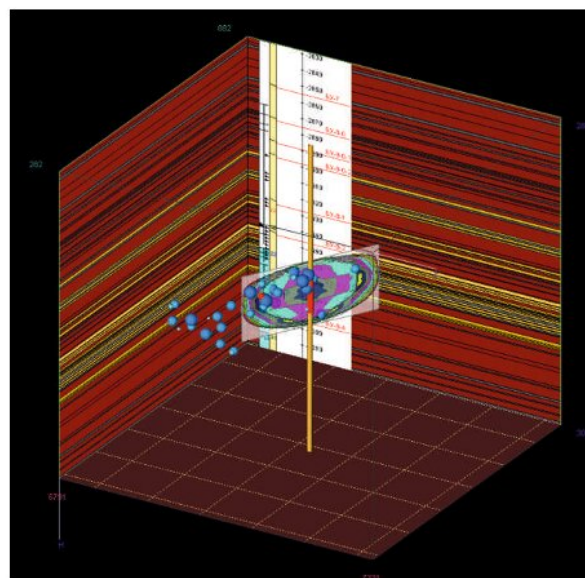
- выявление несоответствия дизайна ГРП фактической геометрии и размерам трещины, в т.ч. обнаружение асимметрии разрыва;
- прогноз негативного сценария распространения трещины за пределы целевого пласта, в т.ч. в область водонасыщенных горизонтов;
- анализ особенностей развития деформационного процесса с целью оценки возможных причин преждевременных остановок закачки («стопов»).

Рассмотрим некоторые характерные примеры мониторинга в случае различных осложнений при проведении операций ГРП.

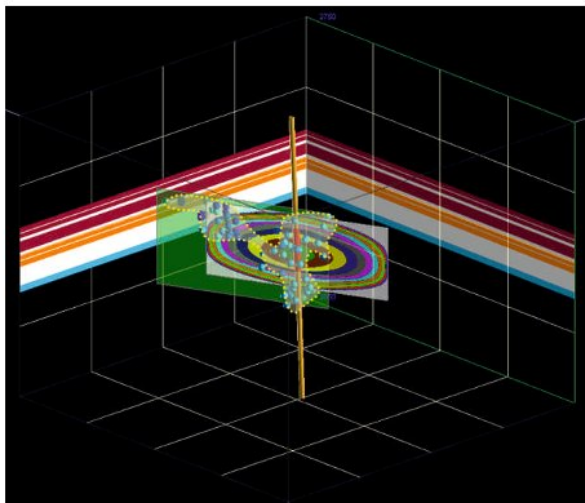
Пример обнаружения асимметрии трещины ГРП приведен на рис.2. Асимметрия, как и простирание трещины, не учитывается стандартными моделями дизайна, однако она оказывает существенное влияние на характер установления гидродинамической связи с соседними скважинами. Следовательно, ее своевременное выявление является одним из принципиальных факторов для оптимизации разработки месторождения.

На рис.3 показан результат микросей-

смического мониторинга ГРП при «стопе». В данном случае при проведении основного ГРП на стадии продавки был получен резкий рост устьевого давления, приведший к автоматической остановке насосов. Всего было продавлено 40% жидкости и около 60% проппанта из запланированных по программе объемов. Как видно, при мониторинге проявляется сразу несколько аномальных особенностей: сильный асимметричный «выброс» эмиссионной активности в районе кровли пласта при остановке общего роста трещины в длину, рост по высоте, а также проникновение в нижележащий водонасыщенный слой. Основной причиной преждевременной остановки закачки явился прорыв трещины ГРП в выше- и нижележащие пропластки с неконтролируемым ее ростом по высоте, что, в свою очередь привело к резкому сужению гидравлической ширины трещины в прискважинной зоне пласта и невозможности дальнейшей транспортировки проппанта в трещину. Характер сейсмоемиссионной активнос-



▲ Рис.2. Обнаружение асимметрии трещины ГРП (в окрестности интервала перфорации показана геометрия трещины по дизайну ГРП со стандартной цветовой раскраской по прогнозной толщине трещины и рой зарегистрированных микросейсмических источников).

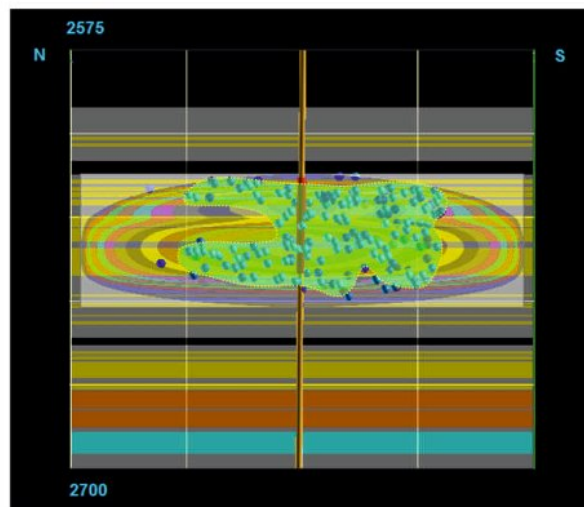


▲ Рис. 3. Результат микросейсмического мониторинга ГРП при «стопе», демонстрирующий размещение проппанта вне продуктивной зоны и неконтролируемый рост трещины по высоте (нефтяные коллекторы показаны коричневым и оранжевым цветом, водонасыщенный пласт – синим цветом; зона микросейсмических «тресков», характеризующих предполагаемую область размещения проппанта, околнурена пунктирной линией).

ти указывает на то, что нижняя часть трещины оказалась преждевременно упакована проппантом, а верхняя – открыта, куда и устремился основной поток материалов. Очевидно, что размещение проппанта вне продуктивной зоны, а также его недокачка из-за преждевременной остановки снижают продуктивность гидроразрыва.

Рис.4 демонстрирует обнаруженное несоответствие фактических размеров и геометрии трещины ГРП с прогнозными данными дизайна. Однако в данном случае, это не является критическим фактором неудачи операции, а лишь свидетельствует о неточном дизайне ГРП.

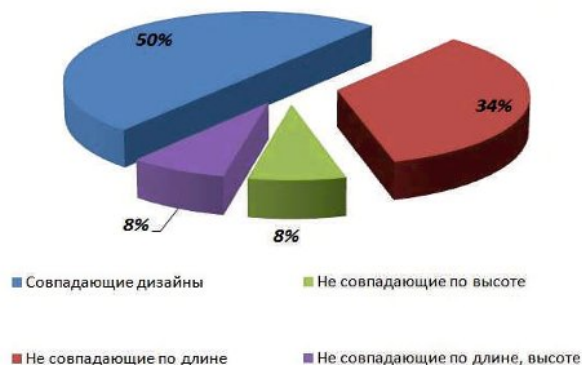
На рис.5 показана диаграмма качества выполнения операций ГРП на одном из газоконденсатных месторождений Западной Сибири, полученная на основе применения методов микросейсмического контроля. Видно, что только половина от общего



▲ Рис.4. Пример несовпадения фактической геометрии и размера трещинной зоны с прогнозными данными дизайна ГРП (показаны геометрия трещины по дизайну, рой зарегистрированных источников микросейсмической активности с выделением области предполагаемого развития деформационных процессов).

количества операций ГРП выполняется с приемлемым качеством.

Отмеченные осложнения могут быть обусловлены следующими обстоятельствами. Операции ГРП обычно базируются на определенных типовых технологиях обработки без детального учета индивидуальных особенностей пласта. Одной из основных причин возникновения «стопов» является недостаточно качественное вторичное вскрытие про-



▲ Рис. 5. Диаграмма качества выполнения операций ГРП на одном из нефтегазоконденсатном месторождении Западной Сибири.

дуктивного пласта, особенно распространенное при «агрессивном» дизайне ГРП [Хайдар и др., 2008]. Количество подобных осложнений при проведении ГРП составляет до 12-15%. Кроме того, предварительно выполняемый мини-ГРП позволяет получить достоверную информацию лишь о небольшом участке пласта, вскрытого трещиной, поэтому в водонефтяных зонах риск возникновения гидравлической связи трещины с водонасыщенными горизонтами остается достаточно высоким, что, при отсутствии должного контроля, при вскрытии большего интервала «вслепую», может привести к росту обводненности продукции.

Выводы

Применение микросейсмического мониторинга позволяет увидеть особенности реакции пласта на стимуляцию, получить недостающую информацию о простираии трещины и ее фактической геометрии, а также осуществить инструментальный контроль качества операций ГРП. Это предоставляет возможность повысить эффективность разработки месторождения, например, при помощи оперативной коррекции дизайна многостадийных ГРП в горизонтальных скважинах или путем заложения дополнительных горизонтальных стволов в вертикальных скважинах с последующим выполнением ГРП на основе данных мониторинга. Такой подход делает работы по мониторингу вполне рентабельными, обеспечивая строгую документальную основу для проектирования рациональной схемы разработки месторождений.

Перспективы в данном направлении связаны с развитием приборно-инструментальной оснащенности месторождений и созданием перманентной службы микросейсмического мониторинга, позволяющей осуществлять диагностический контроль в режиме реального времени.

Литература

1. Maxwell, S.C. and Urbancic, T.I. The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field // The Leading Edge, 2001, 6, 636-639.
2. Александров С.И., Мишин В.А., Перепечкин М.В. Микросейсмический мониторинг гидравлического разрыва пласта: «скважина» vs «поверхность»: XII ежегодная международная конференция ЕАГО-EAGE-ИФЗ «Гальперинские чтения 2012»: «Инновационные технологии и актуальные исследования в нефтяной геофизике». Москва, ЦГЭ 30 октября - 2 ноября 2012 – М., ЦГЭ, 2012.
3. Александров С.И., Мишин В.А., Перепечкин М.В., Буров Д.И. Проблемы скважинного и наземного микросейсмического мониторинга гидроразрыва пласта // Экспозиция Нефть Газ, 2015, №6(45), с.58-63.
4. Александров С.И., Мишин В.А., Перепечкин М.В., Буров Д.И. Применение пассивного сейсмического мониторинга для контроля качества выполнения операций ГРП: «4-ая Международная конференция по актуальным вопросам инновационного развития нефтегазовой отрасли ЭНЕРКОН-2013», Москва, 26-28 июня 2013.
5. Александров С.И., Мишин В.А., Перепечкин М.В., Буров Д.И. Применение наземного микросейсмического мониторинга для контроля качества выполнения операций ГРП: XIII ежегодная международная конференция ЕАГО-EAGE-ЦГЭ-ИФЗ «Гальперинские чтения 2013»: «Инновационные технологии и теоретико-экспериментальные исследования в интегрированной наземно-скважинной сейсморазведке и микросейсмике». Москва, ЦГЭ, 29 октября - 1 ноября 2013 – М., ЦГЭ, 2013.
6. Александров С.И., Мишин В.А., Перепечкин М.В. Система обработки данных пассивного сейсмического мониторинга ГРП // Приборы и системы разведочной геофизики, 2012, т.39, №1, с.58-61.
7. Буров Д.И., Кусевич А.В. Практика применения сейсмомониторинга гидроразрыва пласта // Технологии сейсморазведки, 2012, № 1, с. 63–66.
8. Хайдар А.М., Борисов Г.А., Горин А.Н., Латыпов И.Д. Анализ и классификация причин преждевременных остановок закачки при проведении гидравлического разрыва пластов // Нефтяное хозяйство, 2008, №11, с.38-41.