

Опасности ГРП – их оценка и визуализация по данным микросейсмического мониторинга

■ Мустафин И. Р., ООО «ТНГ-Групп», г. Бугульма

■ Вильданов Р.В., ООО «ТНГ-Геосейс», г. Бугульма

■ Митяев Е. В., ООО ГМК «Цифра», г. Новосибирск

Гидроразрыв пласта – инструмент увеличения добычи или угроза скважине?

Одним из основных вызовов, стоящим перед мировой и российской нефтегазовой промышленностью, является разработка нетрадиционных и трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ). Доля ТРИЗ в общем объеме ресурсной базы России неуклонно растет и приближается к 70%.



▲ Рис. 1. Доля ТРИЗ в ресурсной базе России.

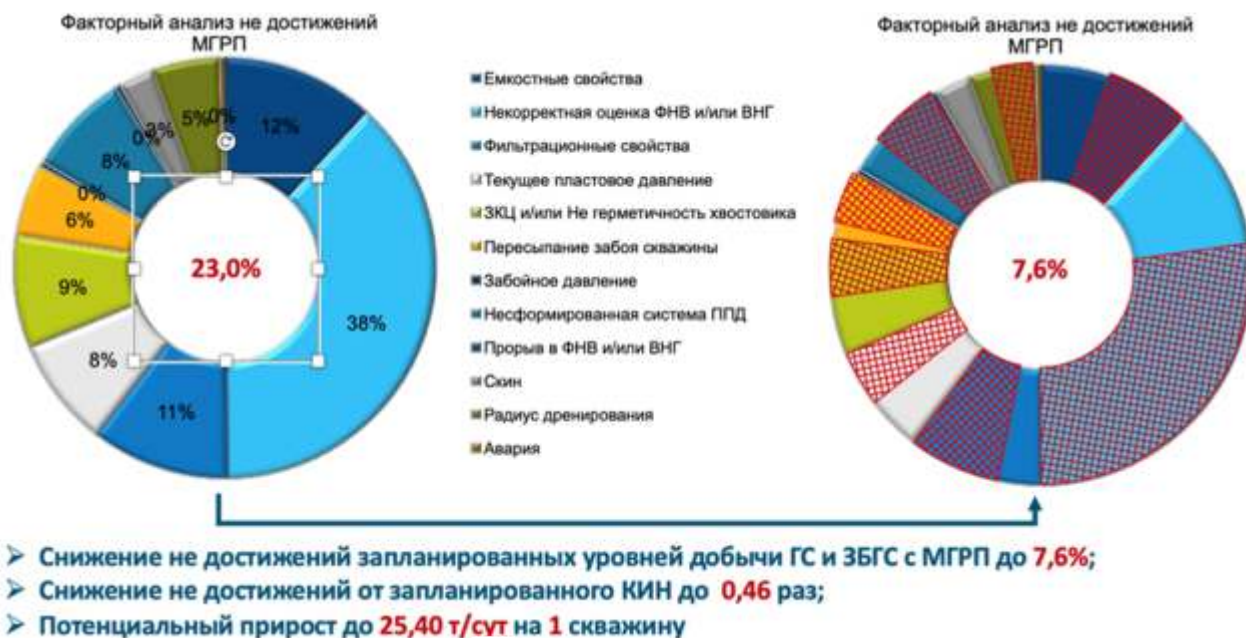
Ключевым технологическим решением для интенсификации добычи на месторождениях ТРИЗ является многостадийный гидравлический разрыв пласта (МГРП). Применение этой технологии позволяет увеличить коэффициент извлечения нефти (КИН) на месторождении ТРИЗ.

Данный метод меняет структуру коллектора и фильтрационные свойства среды, увеличивая зону дренирования вокруг скважины. Суть ГРП заключается в том, что на забое нефтедобывающей скважины путем закачки вязкой жидкости создаются высокие давления, превышающие в 1,5-2 раза пластовое. Одномоментно в скважину закачивается несколько

ко огромных бассейнов жидкости. В результате создаваемого в пласте давления происходит разрыв горной породы, и появляются трещины, распространяющиеся по направлениям минимальных напряжений. Пласт расслаивается, что способствует притоку нефтяного флюида в призабойную зону. Вместе с жидкостью подается расклинивающий материал, обеспечивающий закрепление трещин после снятия давления – мелкозернистый песок (проппант). Таким образом, формируются высокопроводящие каналы для проникновения добываемого углеводорода.

Технология ГРП позволяет «оживить» простаивающие скважины, на которых добыча традиционными способами уже невозможна или малорентабельна, а также, может использоваться для дегазации угольных пластов. Это – единственный реальный инструмент, позволяющий разрабатывать сложные коллектора ТРИЗ сланцевых углеводородов. Объемы ГРП растут из года в год, и, единственным сдерживающим фактором в применении технологии, является отсутствие в достаточном количестве «флота ГРП».

Для того чтобы ГРП было успешным необходимо максимально точно знать свойства породы, в которой планируется разрыв. От давления в толще, степени неоднородности самого нефтеносного пласта и вмещающих пород, глубины перфорации, выборе местоположения портов, гидродинамики залежи и многих других очень важных факторов зависит конечный успех дорогостоящей технологической процедуры.



▲ Рис. 2. Анализ факторов не достижения ГРП поставленных целей по факту анализа 268 скважин.

В ходе осуществления ГРП, не всегда удается достичь желаемого результата. Иногда операция ГРП может дать отрицательный эффект, когда добывающая скважина перестает давать продукцию.

Статистика об успешности проводимых ГРП весьма скудна, что объясняется двумя факторами:

- Информация об эксплуатации месторождений относится к закрытой коммерческой информации, о чем недропользователи не спешат делиться с общественностью;
- Эффект ГРП является пролонгированным по времени и кроме непосредственно ГРП в процессе эксплуатации происходят иные технологические мероприятия, также влияющие на добычу.

Тем не менее, можно говорить, что ГРП проходит в соответствии с запланированным дизайном только в половине случаев, а треть процедур ГРП ухудшает работу скважин. Факторный анализ не достижения целей ГРП представлен на Рис. 2.

Некорректный расчет параметров ГРП (давление, объем жидкости, внутрискважинное оборудование и др) приводит к внеплановым результатам МГРП, кото-

рые можно разделить на ряд ключевых причин.

Неэффективный учет зон разуплотнения при планировании ГРП в среде

Одним из основных требований корректного дизайна ГРП является учет перспективных участков (зон разуплотнения или естественной трещиноватости), который позволяет избежать ошибочного направления горизонтального участка скважины или расположения стадий ГРП. Одним из требуемых атрибутов анализа является специализированная обработка сейсмических данных с выделением рассеянной компоненты и построением куба дифракторов.

Отсутствие анализа рассеянной компоненты приводит к неэффективному расположению портов ГРП с попаданием в плотную породу, в которой энергии закачиваемой жидкости не хватает на образование трещин, ГРП просто не происходит. Неверное расположение портов, да и самой скважины, относительно продуктивных интервалов целевого горизонта, может свести все работы к нулевому результату.

Прорыв воды по трещине ГРП

Несмотря на большое множество различных технологий и модификаций ГРП, расширяющих области его применения, эта технология не может быть реализована повсеместно. Одним из основных факторов, ограничивающих область применения ГРП, является близость водонасыщенных прослоев. Учитывая то, что трещины образуются при ГРП чаще всего в вертикальной плоскости, риск прорыва покрышки или подстилающих водоносных горизонтов очень высок. Особенно, при небольших по мощности продуктивных интервалах.

Разрушение колонны скважины

Достаточно часто, особенно при одностадийных ГРП в вертикальных скважинах, энергия ГРП уходит не в разрушение породы, а в разрушение цементажа самой скважины, уходя в затрубное пространство.

Вынос проппанта

Наибольшую опасность для снижения продуктивности скважин после ГРП представляет вынос проппанта из трещины. Результатом явления выноса проппанта в процессе освоения или эксплуатации скважины может стать не только быстрый износ скважинного оборудования в результате абразивного воздействия, но и уменьшение проводящей ширины трещины в результате снижения эффекта расклинивания, вплоть до ее полного схлопывания. Причем, вынос проппанта может быть как длительным, так и очень быстрым. Состояние трещин напрямую влияет на интенсивность добычи и успешность всей процедуры ГРП.

Кольматация неразложившимся гелем

Жидкость разрыва, оставшаяся в пласте после ГРП, оказывает негативное влияние не только на закрепление проппанта в трещине, но и на продуктивность скважины в целом. В качестве основы жидкостей разрыва применяются, как правило, гели гуаровой смолы с добавлением сшивателя и брейкера-деструктора полимеров. Нередки случаи, когда после размещения в трещине проппантной массы полимер остается неразрушенным. В результате образуется гелеобразная масса, характеризующаяся сверхвысокими значениями вязкости. Эта трудноудаляемая масса может заблокировать не только пространство трещины, но и пространство призабойной зоны.

Все вышеперечисленные факторы снижают эффективность ГРП и продолжительность эффекта, что приводит к существенному как геологическому, так и экономическому ущербу от применения этой технологии, имеющей высокие риски, сохраняя недоверие специалистов-разработчиков.

Микросейсмический мониторинг событий, возникающих при ГРП.

Во время ГРП происходит много событий, каждое из которых является источником микросейсмической эмиссии. Разрыв породы во время этапов нагнетания давления, «дыхание» трещин, которые начинают уменьшаться после сброса давления жидкости, приток флюида по вновь открывшимся каналам - создают шумы. Эти шумы можно уловить, настроив систему наблюдения за сейсмическими событиями, происходящими во время ГРП, разместив датчики как на поверхности, так и в наблюдательных скважинах, если такие имеются рядом. Разбра-

ковка шумов на случайные, технологические и геологические – эта задача, успешно решаемая современными методиками пассивной сейсморазведки, или микросейсмического мониторинга среды (МСМ)

Суть МСМ заключается в регистрации сейсмических сигналов, возникающих в процессе ГРП, и дальнейшей обработке полученных данных с целью оценки пространственных характеристик образовавшихся трещин и построения изображения трещиноватой зоны.

Обработка и интерпретация данных микросейсмического мониторинга ГРП предполагает решение двух основных задач:

- локации сейсмических источников;
- визуализации зоны трещиноватости.

Задача локации заключается в определении координат сейсмических импульсов, возникающих при разрыве породы, по сигналам, зарегистрированным набором пространственно разнесенных сейсмоприемников (сейсмической антенной). Задача визуализации зоны трещиноватости заключается в построении изображения появившихся трещин по данным, полученным в результате локации. Главным для потребителя исследований МСМ является практическое применение метода.

Для практического применения результатов микросейсмического мониторинга необходим комплексный анализ геолого-технологической информации в пределах исследуемого пласта.

Комплексный подход может решить следующие задачи:

- адаптация изменений фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пласта, вызванных проведением ГРП;
- разработка рекомендаций по мероприятиям для оптимизации работ скважины;

- прогноз результатов ГРП в скважинах-кандидатах.

В рамки этих задач попадают такие важные с точки зрения практики вопросы как прорыв покрышки пласта, распространение трещин до ВНК, корректировка проектов трещин ГРП, изменение гидродинамической модели пласта с целью оптимизации схемы разработки и др.

Предлагается следующий алгоритм решения задачи интерпретации результатов МСМ совместно с другими геофизическими исследованиями:

- подготовка сейсмической основы в районе скважины с ГРП;
- построение трехмерной геологической модели в районе скважины с ГРП;
- адаптация трехмерной геолого-технологической модели на фактические показатели работы скважин с учетом изменения фильтрационных свойств около скважинного пространства, после проведения ГРП;
- адаптация трехмерной геолого-технологической модели с учетом выявленных зон естественной трещиноватости;
- анализ результатов проведения ГРП, прогноз результатов ГРП в скважинах кандидатах.

Подготовка сейсмической основы базируется на комплексе работ: сейсмостратиграфическая привязка, корреляция отражающих горизонтов, глубинные преобразования, динамический анализ сейсморазведочных данных, специализированная обработка данных МОГТ. Целью этих работ является детализация структурного каркаса, прогноз ФЕС пласта и выявление зон естественной трещиноватости.

Построение геологической модели с учетом результатов МСМ проводится на основании всего комплекса геологической информации, полученной на место-

рождении на дату проведения исследований (кern, сейсмические данные, данные ГИС и др.).

Использование гидродинамической модели позволяет учесть влияние разработки залежи на и изменение начального состояния пласта относительно момента бурения и ввода в эксплуатацию целевой скважины. Изменение свойств пород, в гидродинамической модели, выявленных с использованием МСМ, проводится нормированием значений зафиксированных энергий микросейсмической эмиссии на экстремумы проницаемости, подбираемые опытным путем при адаптации гидродинамической модели, на фактические показатели работы скважины.

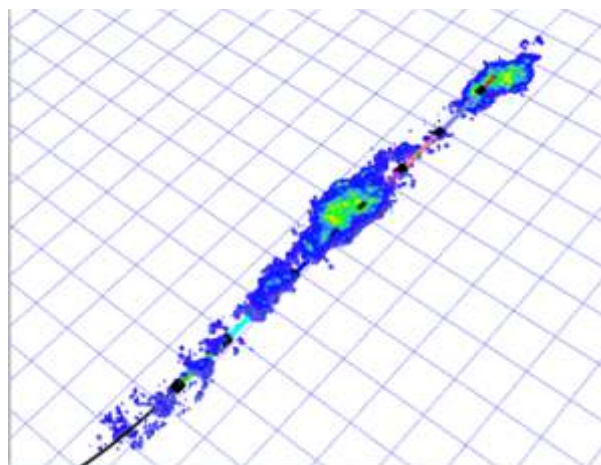
Ошибки ГРП, которые можно увидеть по данным МСМ. Практические наблюдения

Прорыв колонны вдоль ствола скважины

Пример 8-стадийного МГРП в Западной Сибири, пласт ЮВ1, мощность 40 м. Во время ГРП вся энергия процесса оказалась направлена на разрушение цементного ствола скважины. Разрыв породы не произошел, скважина попала в аварию (Рис. 3).

Прорыв водоносных горизонтов

Полный комплекс работ по исследованию ГРП был проведен на одном из



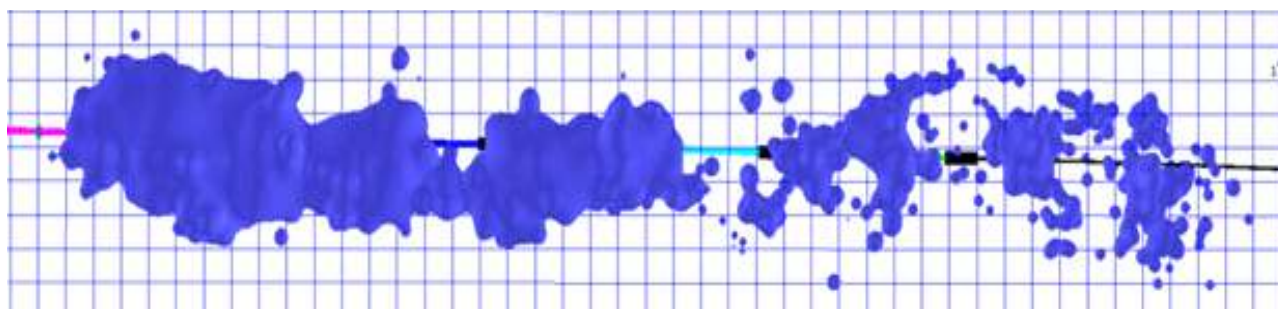
▲ Рис. 3. Распространение микросейсмических событий вдоль ствола скважины.

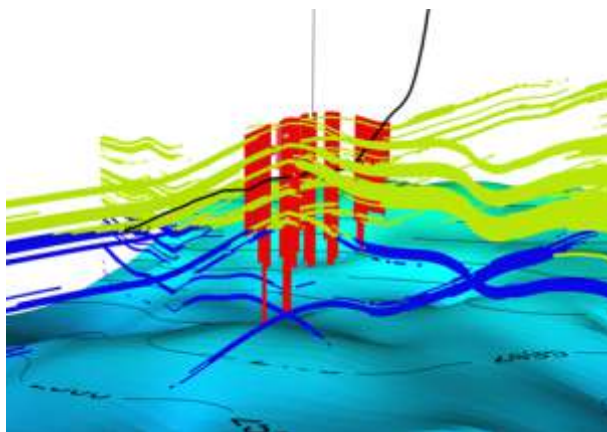
месторождений Западной-Сибири, пласт БС10. В пределах рассматриваемой площади целевой пласт представлен песчаниками от мелко- до крупнозернистых. Тип коллектора поровый, зоны естественной трещиноватости не выявлены.

Шестистадийный ГРП был проведен в горизонтальной скважине. По данным МСМ была проведена адаптация гидродинамической модели (Рис. 5, 6, 7).

В результате выполненных работ установлено, что в результате формирования зоны техногенной трещиноватости произошло приобщение водонасыщенных пропластков коллекторов нижней части разреза, в районе первого и второго портов, что привело к значительному обводнению скважины. В качестве мероприятий по снижению обводнения было рекомендовано изолировать порты с первого по третий.

▼ Рис. 4. Распространение микросейсмических событий вдоль ствола скважины.

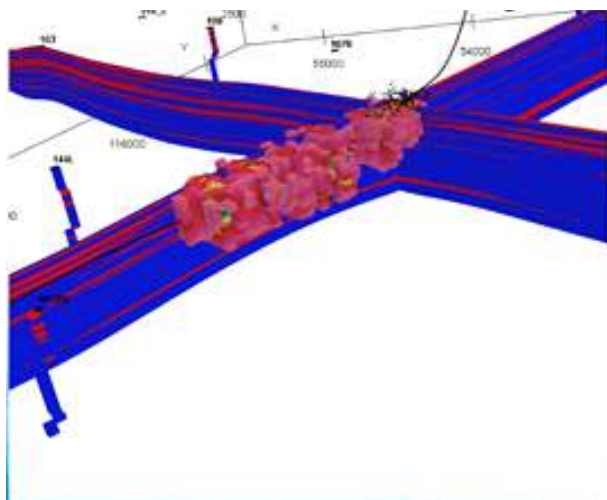
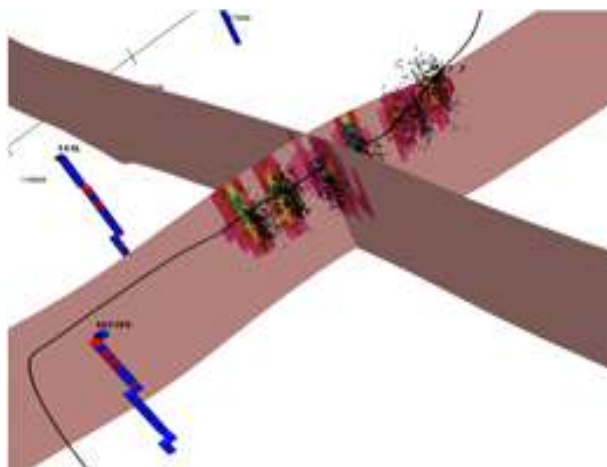




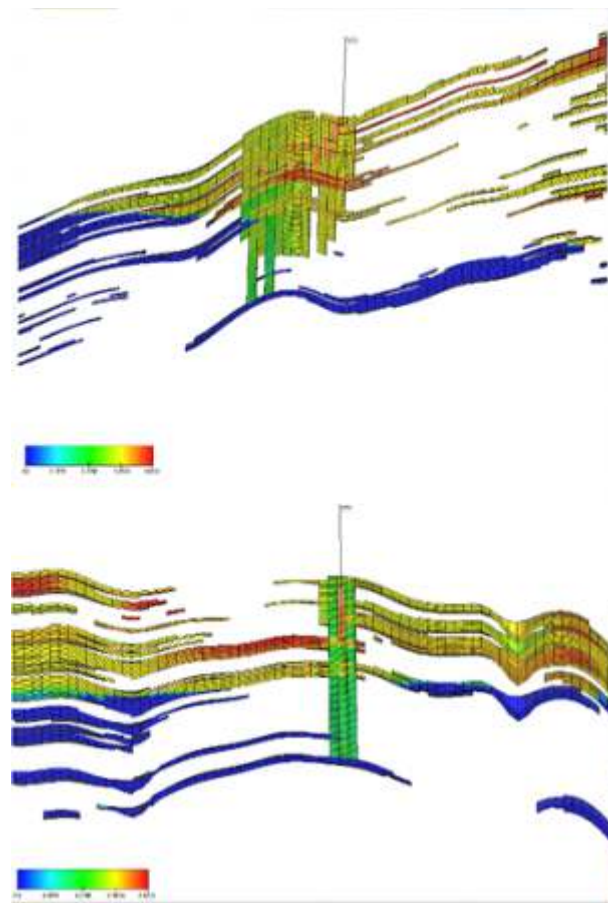
▲ Рис. 5. Адаптация гидродинамической модели с учетом данных МСМ.

Некорректный дизайн горизонтального участка ствола и параметров МГРП

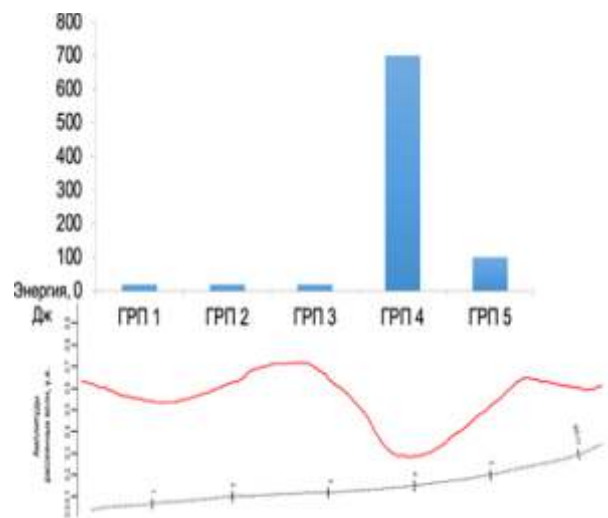
Пример 5-стадийного МГРП в Западной Сибири.



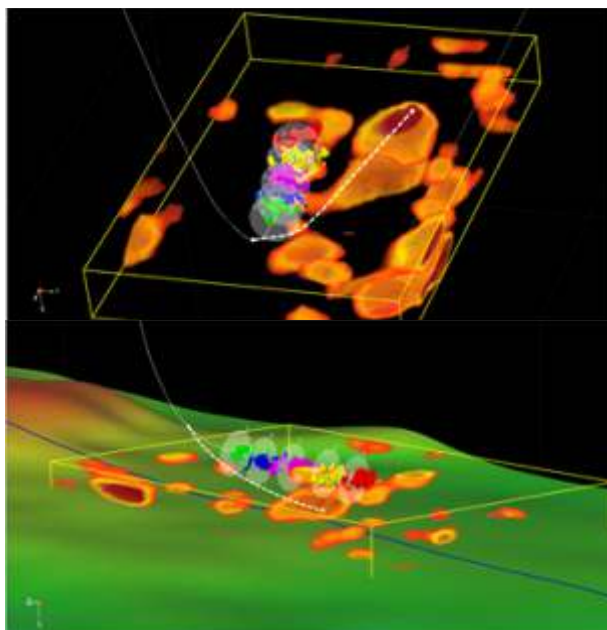
▲ Рис. 6. Осреднение результатов МСМ на 3Д геолого-гидродинамическую модель.



▲ Рис. 7. Разрезы модифицированного после МГРП куба нефтенасыщенности с отмеченным приобщением водонасыщенных пропластков коллекторов нижней части разреза в районе 1-2 порта.



▲ Рис. 8. Изменение энергии событий по портам в сравнении с амплитудами рассеянных волн вдоль ствола скважины.



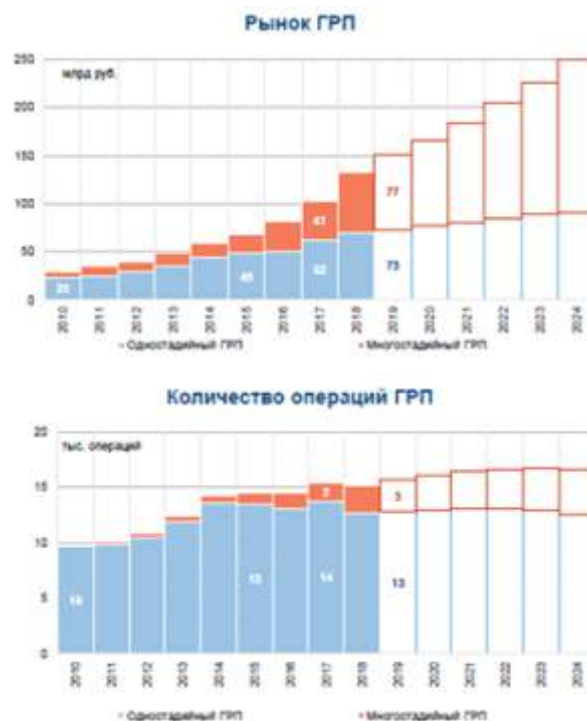
▲ Рис. 9. Срезы кубов с отмеченными результатами МГРП.

На Рис. 9 видно, что 4 и 5 порты не попали в перспективные зоны разуплотнений и не дали результата. По результатам МСМ Предложен альтернативный вариант проведения горизонтального участка ствола скважины через зоны повышенной трещиноватости.

Что дальше?

По итогам 2018 года сегмент МГРП занимает около 48% рынка ГРП в денежном выражении и 16% в физическом. В перспективе этот показатель будет увеличиваться ввиду наличия серьезного потенциала для роста применения МГРП для разработки нетрадиционных коллекторов на горизонтальных скважинах.

В 2019 году можно ожидать сохранения положительной динамики объема выполняемых ГРП. На переходящем фонде скважин спрос и востребованность будут диверсифицированы в сторону операций ГРП на новых скважинах, а также операций многостадийного ГРП, при условии сохранения цен на нефть в диапазоне 55 – 65 \$/баррель. Это позволит проводить операции при снижающейся удельной эффективности и ухудшения «качества» скважин – кандидатов для проведения ГРП.



▲ Рис. 10. Прогноз перспектив ГРП в России по данным RPI до 2024 г.

В перспективе до 2030 года объем рынка ГРП в денежном выражении будет расти. Основными драйверами роста рынка будут являться увеличение применения МГРП на горизонтальных скважинах, увеличение средней стадийности МГРП (с 6 - 7 в 2018 году до 12 и более стадий к 2030 году), увеличение частоты применения дорогостоящих управляемых компоновок и, как следствие, увеличение стоимости операций МГРП.

Суммарно в денежном выражении рынок всех операций ГРП (одно- и многостадийных) в 2030 году достигнет уровня 577 млрд рублей, при этом доля МГРП в этом объеме составит более 80%.

Однако для того, чтобы инструмент ГРП успешно использовался, неотъемлемой частью данной технологии должен стать микросейсмический мониторинг.

С широким применением МСМ, организация системы наблюдения за событиями при ГРП станет технологичнее, а значит, дешевле. Обработка и интерпретация материалов станет стан-

дартной процедурой, где варианты интерпретации той или иной геологической ситуации станут легко читаемы и понятны. И сама процедура МСМ станет неотъемлемым стандартом при ГРП, как работы ГТИ стали неотъемлемой частью контроля бурения.

Снижение процента неуспешных ГРП – вот экономическая основа для повсеместного внедрения данной технологии при разработке месторождений.

Литература:

1. Еременко К. Ю., Казаковцева Д. К., Гудошник Е.Э., Орлов А. В., Оценка рисков при проведении работ по многостадийному ГРП в ТПП «Повхнефтегаз» при нештатных ситуациях техногенного характера, Бюллетень науки и практики / Bulletin of Science and Practice, <https://www.bulletennauki.com, T. 5. №12. 2019, DOI: 10.33619/2414-2948/49>
2. Бобков Д.О. Проблемы, возникающие при проведении ГРП, и возможности их решения // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/07/84111> (дата обращения: 13.09.2020).
3. Опыт и перспективы практического применения микросейсмического мониторинга ГРП. Д.Н. Гапеев, А.А. Калабин, Е.В. Митяев, А.В. Киричек. Научно-практическая конференция «Горизонтальные скважины 2017». Казань.
4. Anokhina E., Erokhin G., Kirichek A., Nazarova M. [2016] Using the Scattered Waves for Detecting the Fractured Zones in Cambrian Sediments in the Southern Part of the Siberian Platform. SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition, Moscow.
5. А.М. Хайдар, Г.А. Борисов, А.Н. Горин, И.Д. Латыпов (ООО «РН-УфаниПИнефть») Анализ и классификация причин преждевременных остановок закачки при проведении гидравлического разрыва пластов, Нефтяное хозяйство, №11, 2008

Подробнее об авторах



Мустафин
Ильфат Ришатович

Заместитель
генерального директора
ООО "ТНГ-Групп"
по разведочной геофизике



Вильданов
Ринат Вакильевич

Начальник
ГЭ «ВСП-Сервис»
ООО «ТНГ-Геосейс»



Митяев
Егор Владимирович

Директор по развитию
ООО ГМК «Цифра»