

УДК 622

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И КОНФИГУРАЦИЙ ТРЕЩИН НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОРАСЧЛЕНЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С ЦЕЛЬЮ ДОБЫЧИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА НАРЫКСКО-ОСТАШКИНСКОМ МЕТАНОУГОЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Попков А.С., студент гр. ГМа-251, I курс
Научный руководитель: Шубина Е.А., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Аннотация:

В статье исследуется механизм формирования трещин при закачке технической воды в угольные пласты Нарыкско-Осташкинского месторождения. Рассматривается взаимосвязь между природной тектоникой, морфологией кливажа и эффективностью создания дренажной сети. Обосновывается роль геологической среды как активного участника процесса формирования проводимости без использования искусственных расклинивающих агентов.

Нарыкско-Осташкинское месторождение является ключевым полигоном для реализации проектов по промышленной добыче метана из угольных пластов (Coalbed Methane — CBM) в России. Одной из применяемых и условно эффективных технологий интенсификации газоотдачи в условиях метаноугольных месторождений является гидрорасчленение угольных пластов с использованием пластовой (технической) воды. Данный метод базируется на нагнетании больших объемов жидкости давления при закачке в пласт, что позволяет раскрыть связанную пористость и создать новые каналы фильтрации.

Данный способ интенсификации коррелирует технологическими решениями с проведением гидравлического разрыва пласта, однако выполняется без операции по закреплению созданных трещин расклинивающим агентом. Это накладывает особые требования к изучению геологического строения массива, так как сохранение проводимости трещин после завершения закачки полностью ложится на физико-механические свойства самого угля и его структурные особенности. Понимание того, как геологические факторы определяют конфигурацию будущей сети трещин, является критическим для обеспечения стабильного дебита газа.

1. Геологические факторы как определяющая среда гидрорасчленения

Эффективность гидрорасчленения на Нарыкско-Осташкинском метаноугольном месторождении обусловлена уникальным сочетанием

петрографических и геомеханических характеристик угольных пластов Кольчугинской серии (P₂kl).

1.1. Тектоническая нарушенность и поле напряжений

Нарыкско-Осташкинское метаноугольное месторождение характеризуется сложным блоковым строением. Наличие складчатого залегания угольных пластов, а также зон дизъюнктивных нарушений формирует неоднородное поле напряжений.

Ориентация трещин (главные нормальные напряжения) ориентированы таким образом, что инициируемые водой трещины имеют преимущественно вертикальную или субвертикальную ориентацию. Это позволяет эффективно пересекать пологопадающие угольные пласты по всей их мощности.

Следует учитывать тектоническую предрасположенность месторождения. В зонах повышенной нарушенности вода стремится следовать путями наименьшего сопротивления – уже существующим разломам. Это требует точного позиционирования интервалов перфораций, чтобы энергия воздействия не рассеивалась в пустых породах.

1.2. Морфология эндогенной трещиноватости (кливажа)

Угольные пласты месторождения (преимущественно марки Г, ГЖО, ГЖ) обладают густой сетью кливажа.

Расстояние между основными трещинами кливажа варьируется от 2 до 10 мм. При гидрорасчленении техническая вода проникает в эти микротрещины, расширяя их и преодолевая силы сцепления.

Средняя стадия метаморфизма углей Нарыкско-Осташкинского метаноугольного месторождения обеспечивает их хрупкость и способность к разрушению. Гидравлическое воздействие способствует образованию мелких сколов на стенках трещин, которые в последствии не дают созданной трещине полностью замкнуться.

1.3. Глубина эффективного применения и роль литостатического давления

На Нарыкско-Осташкинском метаноугольном месторождении литостатическое давление выступает основным сдерживающим фактором, который определяет эффективность гидрорасчленения угольных пластов. При исключении из стандартного технологического процесса расклинивающего агента метод интенсификации целиком зависит от баланса между внешним давлением жидкости и внутренним давлением горных пород.

Градиент литостатического давления на месторождении составляет 0,024 МПа/м. С увеличением глубины (и, соответственно, литостатического давления) эффективность безпропантного метода падает. На глубине свыше 600 метров давления-сжатия настолько велики, что микровыступы на поверхности трещин разрушаются, и трещина полностью теряет проницаемость.

Литостатическое давление на данном месторождении диктует «окно» применения безпропантной технологии. На малых и средних глубинах (до 400-500 м) природная трещиноватость и жесткость угля позволяют

трещинам оставаться частично открытыми, обеспечивая возможность добычи флюида. На больших глубинах (>600 м) высокое давление сжатия делает использование расклинивающего агента практически необходимым для предотвращения полного смыкания каналов.

1.4 Влияние модуля Юнга и коэффициента Пуассона на гидорасчленение угольных пластов

На малых глубинах уголь более хрупкий, что облегчает создание сети самоподдерживающихся трещин. На больших глубинах Нарыкско-Осташкинского метаноугольного месторождения рост значения коэффициента Пуассона часто «перебивает» выгоду от роста модуля Юнга. Пласт становится настолько пластичным, что без проппанта созданная трещина смыкается практически герметично под действием огромного бокового давления.

Таблица 1

Параметр	Тренд с глубиной	Влияние на гидорасчленение
Модуль Юнга	↑ Рост	Положительное: жесткие стенки трещины лучше сопротивляются смыканию
Коэффициент Пуассона	↑ Рост	Отрицательное: уголь становится пластичным, горизонтальные напряжения растут, и трещина стремится закрыться быстрее и плотнее

При высоких значениях модуля Юнга трещины более длительное время сохраняют открытое состояние, а при низких значениях коэффициента Пуассона горные породы более склонны к раскрытию трещин.

1.5. Метаноносность и проницаемость матрицы

Высокая метаноносность (до $22 \text{ м}^3/\text{т}$) создает значительное внутрипоровое давление газа, которое частично компенсирует горное давление. Это облегчает процесс раскрытия трещин водой. Однако средняя низкая матричная проницаемость ($0,54 \text{ мД}$) диктует необходимость создания максимально разветвленной конфигурации трещин для сокращения пути диффузии метана из угольных пластов.

2. Конфигурация техногенных трещин и их влияние на добычу метана из угольных пластов.

При закачке воды без расклинивающего агента на Нарыкско-Осташкинском месторождении формируется специфическая геометрия фильтрационных каналов, отличная от классических моделей линейного разрыва.

2.1. Формирования конфигурации сети трещин

Ключевым фактором успеха является создание диффузного облака трещин. За счет низкой вязкости, вода под высоким давлением (до 35 МПа на

устье), проникает не в одну плоскость, а одновременно во множество систем кливажа. Вместо одной длинной трещины формируется зона разупрочнения, имеющая в плане эллипсовидную или ветвистую форму, что критически важно для Нарыкско-Осташкинского метаноугольного месторождения, так как позволяет вовлечь в десорбцию максимальный объем угольного вещества в скважине.

2.2. Механизм самоподклинивания при сдвиговых деформациях

Поскольку искусственный проппант отсутствует, устойчивость трещин обеспечивается механизмом сдвигового самоподклинивания. Под действием давления воды происходит не только раздвижение, но и относительное смещение стенок трещины. Из-за природной шероховатости угольных плоскостей поверхности после смещения не могут вернуться в исходное состояние «замок в замок». Образующиеся просветы обеспечивают остаточную проводимость, достаточную для фильтрации метана и пластовой воды к забою скважины.

2.3. Влияние мощности пласта на геометрию воздействия

При гидрорасчленении мощность пласта напрямую определяет, пойдет ли трещина в длину или в ширину. Поскольку уголь гораздо «мягче» вмещающих пород (песчаников, алевролитов, аргиллитов), геометрия процесса сильно зависит от мощности угольного пласта.

В **мощных пластах** трещина может развиваться преимущественно внутри угля. Кровля и почва пласта служат естественными барьерами. В этом случае формируется широкая зона диффузного трещинообразования. Чем мощнее пласт, тем больше жидкости требуется для заполнения его объема.

В **тонких пластах** энергия давления часто прорывает границы пласта. Трещина уходит в пустую породу, что снижает эффективность добычи метана из угольных пластов. Она вынуждена расти горизонтально, что увеличивает ее длину, но повышает риск смыкания под давлением горного массива.

Заключение

В результате проведенного исследования взаимосвязи геологических факторов и конфигураций трещин на эффективность технологии гидрорасчленения без использования расклинивающего агента на Нарыкско-Осташкинском метаноугольном месторождении, были сформулированы выводы, оказывающие значительное воздействие на процесс интенсификации при добыче метана угольных пластов.

Для условий Нарыкско-Осташкинского метаноугольного месторождения выявлен «глубинный порог» эффективности безпроппантного ГРП, в частности с ростом глубины свыше 600 метров залегания пластов и увеличением горного давления происходит интенсивное смыкание новообразованных трещин, что диктует необходимость учета модуля упругости и пластичности угля. В условиях глубоких угольных горизонтов гидрорасчленение дает лишь кратковременный эффект, что требует пересмотра режимов закачки и темпов последующего освоения скважин.

Анализ показал, что конфигурация созданных трещин при гидрорасчленении стремится повторить направление главных эндогенных систем кливажа. Максимальная газоотдача достигается в зонах, где искусственное воздействие успешно объединяет изолированные системы природных трещин в единую фильтрационную сеть, не забитую мелкодисперсным угольным шламом.

Установлено, что при отсутствии расклинивающего агента решающую роль играет механизм самоподклинивания. Эффективность воздействия напрямую зависит от степени шероховатости стенок трещин и микросдвигов угольных блоков. Геологические факторы, способствующие неоднородности строения угольного вещества, в данном контексте становятся преимуществом, позволяя трещинам сохранять проводимость после снятия избыточного давления за счет несовпадения рельефа стенок.

Список литературы:

1. Сластунов, С. В. Опыт промышленной добычи метана из угольных пластов в Кузбассе / С. В. Сластунов, К. С. Коликов. — Москва : Горная книга, 2011. — 182 с. — Текст : непосредственный.
2. Оценка параметров трещиноватости угольных пластов для обоснования технологии извлечения метана / О. В. Тайлаков, Д. Н. Застрелов, М. П. Макеев, Е. А. Ушаков. — Текст : непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2014. — № 5. — С. 18–22.
3. Пунтус, А. В. Геологическое строение и газоносность Нарыкско-Осташкинской площади Кузбасса / А. В. Пунтус. — Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. — 2012. — Т. 321, № 1. — С. 138–142.
4. Ермолаев, А. М. Геомеханическое обоснование технологий заблаговременного извлечения метана из угольных пластов : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ермолаев Александр Михайлович. — Кемерово, 2009. — 38 с. — Текст : непосредственный.
5. Меркулов, В. П. Геолого-промысловые основы интенсификации добычи газа / В. П. Меркулов ; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во ТПУ, 2011. — 150 с. — Текст : непосредственный.