**Тема: «Геометрия трещины гидроразрыва»**

Биккулов Руслан Дамирович

магистрант кафедры разработки нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, Институт геологии и нефтегазодобычи, г.Тюмень, Российская Федерация. Место работы: компания Шлюмберже Лоджелко Инк, полевой инженер ГРП. Адрес: 190000, Российская Федерация, г.Новый Уренгой, Западная Промзона, территория 1;

Ruslan.Bikkulov@gmail.com

8-921-642-82-93

# **Геометрия трещины гидроразрыва**

Сущность гидравлического разрыва пласта состоит в образовании и расширении в пласте трещин при создании высоких давлений на забое скважины жидкостью, закачиваемой в скважину. В образовавшиеся трещины нагнетают отсортированный крупнозернистый песок или проппант, роль которых состоит в том, чтобы не дать трещине сомкнуться после снятия давления. Причину образования трещин при давлении, меньшем горного давления, академик С. А. Христианович объясняет пластическими деформациями глин и глинистых пород в процессе бурения скважин, залегающих в кровле или в самом продуктивном пласте. Предполагается, что глины «вытекают» в скважину после их вскрытия под действием лежащих выше пород. Это приводит к возникновению «разгружающих сводов» в зоне пластов, охваченных пластической деформацией, и вследствие этого вертикальное горное давление оказывается уменьшенным вблизи скважины. Эффективность крепления трещины определяется ее проводимостью и эффективной площадью, т.е. длиной и высотой закрепленной части трещины. Проводимость зависит от взаимосвязанных факторов: типа, размера и однородности закрепителя, степени его вдавливаемости в стенки трещин, деформации и разрушения зерен закрепителя, его качества и размещения в трещине. Заполнение закрепителем прискважинной части трещины гидроразрыва - важный этап ее крепления. Этому вопросу уделяется особое внимание и считается, что проводимость трещины вблизи скважины имеет решающее значение. Экспериментальные исследования и промысловый опыт показывают, что незакрепленность прискважинной части трещины, составляющей всего 3 % ее длины, приводит к закрытию входного участка и значительно снижает эффект от гидроразрыва, а увеличение проводимости входного участка его повышает. Поэтому прискважинную часть трещины считают критической для повышения эффективности ГРП. Кроме того, в этой части трещины упаковка закрепителя подвержена наибольшему напряжению, равному локальному горному давлению за вычетом текущего порового давления, поскольку поровое давление вблизи ствола скважины при отборе нефти снижено.

Вопрос о том создается ли одна трещина или множество трещин при гидроразрыве пласта остается по-прежнему спорным. На основе микросейсмических данных и информации, полученной от уклономеров, были засвидетельствованы оба случая, что позволяет считать, что каждая индивидуальная трещина, является листовидной. Однако, как предсказано различными моделями, форма трещин изменяется. В последние десятилетия были приложены значительные усилия, чтобы изменить соответствующие модели для проектирования ГРП. Большинство из этих моделей имеет как минимум три недостатка, которые включают:

* Положения, на основе которых были предложены вычислительные модели, являются общими.
* Усложненное программирование
* Неясность во входных и выходных данных, особенно в сравнении с фактическими условиями эксплуатации.

Тем не менее, некоторые из предлагаемых моделей достаточно хороши, но не во всем. Одной из самых простых моделей геометрии трещины является модель «KGD», которая представляет собой двухмерную модель(2D). Эта модель рассматривает ширину трещины в зависимости от длины. Другой двумерной моделью геометрии трещины является модель «PKN», которая учитывает ширину трещины в зависимости от высоты трещины. Ввиду расширения длины и высоты трещины во время выполнения операции, предположение о постоянной высоте трещина не оправдано. Таким образом, для этой цели М. Клиари в 1986 г. представил псевдо трехмерную модель гидравлического разрыва (P3DH). Эта модель (P3DH) рассматривает ширину трещины как функцию меньшей размерности (длина и высота) с допущением изменений в длине и высоте трещины при выполнении операции. Стоит отметить, что на протяжении многих лет, используются различные модели для приблизительного определения развития геометрии трещины. Среди моделей, используемых в нефтяной промышленности, модели «PKN» и «KGD» являются наиболее популярными. Все модели гидроразрыва могут быть разделены на двумерные и трехмерные. Первые попытки описать геометрию трещины были предприняты с помощью упрощенной двумерной модели. Когда продуктивная зона не содержит многослойных пластов, нет смысла расширять трещину до ограничивающих слоев. При наличии соответствующего инструмента, можно отрегулировать параметры стимуляции таким образом, чтобы разрушение в некоторой степени, происходило в продуктивной зоне. В таком случае, двумерная модель трещины может быть использована для оптимизации гидравлического разрыва. Однако если высота разрыва содержится строго в продуктивной зоне в стволе скважины, продуктивная высота трещины, разумеется, исключает фрагментацию продуктивной зоны. Это, главным образом, происходит потому, что в действительности к боковому концу, высота разрыва, скорее всего, станет меньше высоты трещины в стволе скважины (например, высота продуктивной зоны), хотя теоретически предполагается, что эти показатели будут оставаться постоянными. Кроме того, трещина имеет менее продуктивную ширину, при приближении к краям. Однако, ввиду того что трещина разлома была разработана с использованием двумерной модели, такие потери продуктивной зоны могут частично быть восстановлены, путем расширения в некоторой степени высоты трещины в ограничивающих слоях. Двумерная модель трещины «PKN-C» разработана путем включения уравнения «Carter II» в оригинальную модель «PKN» для материального баланса при постоянной скорости впрыска жидкости. Еще одна двумерная модель трещины KGD также имеет свою версию «KGD-C». Тем не менее, модель «PKN-C» является предпочтительной в нефтяной промышленности, потому что ее положения о деформации вертикальной плоскости физически более приемлемы для предлагаемых высоко насыщенных трещин, где длина трещины становится значительно больше, чем высота трещины.

Разработка полностью трехмерных моделей происходит на основании двух основных требований: во-первых, необходимость понять природу роста трещины, когда перелом происходит в не предпочтительном направления или плоскости; а во-вторых, необходимость идеализировать рост трещины в соседних многослойных пластах с различными свойствами и напряжениями. Как правило, полностью трехмерная модель вкупе с потоком жидкости необходима для удовлетворения первого требования. Такая модель не подходит для оптимизации конструкции ГРП с участием большого числа повторяющихся вычислений. В целях удовлетворения второго требования, предложены псевдо трехмерные модели (P3D). Эта модель «P3D» также используется в нефтяной промышленности из-за ее простоты роста высоты в ствол скважины и вдоль длины трещины в многослойных пластах. Одни из первых попыток подсчитать количественное преимущество ГРП были предприняты МакГир и Шикода в 1960 году. Они использовали электрическую модель трещинного коллектора. С соотношением длины трещины к радиусу дренажного коллектора от 0,1 до 1,0, они показали, что ожидаемый индикатор пористости находится примерно между 1,5 и 14. Предыдущие исследования были направлены как на вертикальные, так и на горизонтальные скважины с учетом добычи нефти и газа. Для добычи газа существует необходимость регулировать конструкцию разрушения для объяснения неламинарного потока, особенно для поперечной трещины гидравлического разрыва, созданного в горизонтальных скважинах. Экономидз и Мартин в 2012 г. показали, что вертикальные скважины с вертикальными трещинами превосходят в производительности несколько поперечных трещин в горизонтальных скважинах в проницаемости более чем на 0,5 мД. Йайинг Лин и Динг Жу в 2012 г. представили полуаналитическую модель исходного метода для оценки производительности скважин в сложных системах сети трещин. Их метод моделирует сложную систему трещин в более разумном подходе. Они также показали, что поток, не подчиняющийся закону Дарси, может быть рассмотрен как снижение проницаемости в трещине со значительно менее эффективной продуктивностью. Снижение было около 2%-20%, из-за отказа потока Дарси, что может привести к низкому потоку. Шен Руанд и Гео Шушенг в 2010 г. провели численное моделирование характеристик производства горизонтальных скважин после гидроразрыва по отношению к изменению проводимости. Модель тяжелой нефти была улучшена в их исследовании, и со временем в их модели было рассмотрено отношение изменения проводимости трещины. Математическая модель была дискретизирована в конечно-разностной аппроксимации, а контрольные уравнения фильтрации были решены с помощью метода явного насыщения неявного давления. Они показали, что проводимость трещины имеет большое влияние на распределения давления. В начальной стадии моделирования, контуры давления возле скважин с трещинами были овальной формы. Когда проводимость трещины исчезла, давление вблизи скважины было круглой формы. Майер и Базан в 2010 г. представили комплексную методику, используя трилинейное решение для предсказания поведения нескольких поперечных конечной проводимости вертикальных трещин в горизонтальных стволах скважин. Амими и Валько в 2007 г. разработали метод с распределенными объемных источников для оценки перелома горизонтальных скважин в коллекторе коробчатой формы. Термин «источник» был добавлен в уравнения диффузии для расчета распределения давления. Тогда был вычислен расход производства от перелома. Бобби и Поу в 2000 г. представили подробную процедуру анализа для получения оценок эффективной проницаемости коллектора, эффективной длины трещины и средней проводимости трещины с помощью производственных данных перехода от билинейного к линейному режиму продолжительности. Сочетание диагностического анализа скважины и истории сопоставления с аналитическими решениями были использованы для получения надежных оценок средних свойств трещин и эффективной проницаемости коллектора. Переходные модели производительности, представленные в их исследовании, включали практический эффект коллектора двойной пористости, проницаемости пласта и скинэффекта перелома.

Храчови в 1993 г. исследовал уравнения, регулирующие производительность скважин для нефтяных скважин после ГРП, с производством от механизма привода газа, растворенного в нефти. Он представил способ, который позволил предсказать увеличение краев и соответствующую скорость добычи нефти, полученной гидроразрывом, пока не был достигнут экономический предел. Его исследования представили метод, на долю которого приходится многофазные эффекты течения в прогнозировании коэффициентов индекса производительности и производительность нефтяных скважин после ГРП, с производством от механизма привода газа, растворенного в нефти. Также был представлен алгоритм для нового метода для того, чтобы рассчитать расход в зависимости от времени. Было произведено сравнение прогнозов, полученных из имитатора коллектора, с предсказаниями, рассчитанными с использованием однофазного дизайна программы промышленной трещины. Кроме того, был приведен пример задач с использованием фактических данных производственного месторождения, чтобы проверить предсказания метода [48]. Около 40% нефтяных скважин и 70% газовых скважин в США была произведены с помощью ГРП с 1993 года по 2005 год. Кроме того, около 20 операций ГРП были произведены в Алжире в месторождении Хасси Мессауд с 1970 по 1980, а также около 150 скважин с ГРП были завершены к 2005 году . В настоящее время лидирующие позиции по количеству проводимых ГРП занимают США и Канада. За ними следует Россия, где применение технологии ГРП производят в основном на нефтяных месторождениях Западной Сибири. Россия – практически единственная страна (не считая Аргентины), кроме США и Канады, где ГРП является привычной практикой и воспринимается вполне адекватно. В других странах применение технологии гидроразрыва затруднено из-за местных предубеждений и сложности технологии. В некоторых странах действуют существенные ограничения по использованию технологии ГРП вплоть до прямого запрета на ее применение.

Нефтедобывающие страны Ближнего Востока, особенно конкуренты Ирана, значительно увеличили инвестиции в технологию гидроразрыва с 2000 года. В настоящее время в большинстве нефтедобывающих стран Ближнего Востока, гидравлический разрыв пласта используется для добуривания в большинстве нефтяных и газовых скважин. К сожалению, в нашей стране гидравлический разрыв пласта не рассматривается серьезно, за исключением нескольких случаев.

Механизм ГРП исследован многими научными и производственными коллективами экспериментально и аналитически в лабораторных и производственных условиях. Анализ опытов по разрыву искусственных к естественных образцов показал:

* Давление разрыва образцов почти во всех случаях больше показателя, вычисленного по любой теории прочности
* Чем больше проникновение жидкости в образец, тем меньше давление разрыва.