

Гидравлический разрыв пласта, как один из эффективных методов интенсификации эксплуатационных и нагнетательных скважин.

А.Ю. Демонова

Введение

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) в настоящее время является наиболее широко используемым методом интенсификации как для эксплуатационных так и для нагнетательных скважин на многих месторождениях нефти и газа.

Метод ГРП состоит в том, что в продуктивном пласте на больших глубинах (ниже 500 м от поверхности земли) создаются трещины, облегчающих путь в пласт воде, закачиваемой в нагнетательные скважины, или облегчающих приток нефти из пласта в эксплуатационные скважины (Экономидис, 2002).

Гидравлический разрыв пласта сделал значительный вклад в повышение дебитов нефти и газа. Процесс ГРП, внедряемый в промышленность с 1947 года, является стандартной промышленной практикой на сегодняшний день. К 1981 году было проведено более 800 000 гидравлических разрывов пласта. К 1988 году это число превысило 1 миллион (John etc, 1989).

В настоящее время лидирующие позиции по количеству проводимых ГРП занимают США и Канада. Примерно на 35-40% от всех пробуренных скважин проведен гидравлический разрыв пласта. На 25 – 30% всех нефтяных месторождений США получена экономическая выгода от применения этого метода (John etc, 1989, Каневская, 1998).

За США и Канадой по количеству операций ГРП следует Россия (Каневская, 1999), в которой применение технологии ГРП производят в основном на нефтяных месторождениях с трудно извлекаемыми запасами

В прошлом, гидравлический разрыв пласта не был таким успешным из-за того, что тогда не было таких точных расчетов математических моделей и компьютерных технологий в нефтегазовой отрасли. Поэтому с развитием новых суперкомпьютерных технологий и новых программных обеспечений удаётся более надёжно определить, как возможные реакции скважины на обработку с помощью гидравлического разрыва пласта, так и эффективность расчетов для создания требуемой трещины.

Данные и методы

Основной задачей наших исследований является анализ распространения трещин при ГРП как для эксплуатационных, так и для нагнетательных скважин. Чтобы в конечном итоге это привело к повышению их продуктивности или приемистости, а не к их полной ликвидации из-за аварийной ситуации при неудачно проведенной операции.

Для осуществления поставленной задачи применялись компьютеризированные расчетные модели ГРП с помощью программы «Mfrac» компании Baker Hughes Incorporated (BHI) Mayer (Baker Hughes Incorporated, 2013). Моделирование (дизайн) проводилось на кафедре гидрогеологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова строго в научно-исследовательских целях.

Дизайн ГРП был выполнен по данным с ряда нефтяных месторождений Западной Сибири, где коллектора характеризуются сложным строением. Для эксплуатационных скважин при применении ГРП необходимо было получить увеличение добычи

углеводородов, а для нагнетательных – повысить приемистость пластов для поддержания пластового давления (ППД).

Для выполнения поставленных задач в программе «MFrac» были выбраны трехмерные модели, которые предполагают, что трещина является плоской и остается плоской в процессе ее распространения. Основными элементами трехмерной модели трещины является: модель раскрытия трещины; модель течения жидкости; критерии распространения трещин и (когда выполнены цифровые решения) алгоритм распространения трещины (John, 1989: Baker Hughes Incorporated, 2013).

Все модели обрабатывают процесс разрыва в «квазистатическое» состояние, инерционными составляющими пренебрегают как в уравнениях раскрытия трещин, так и в уравнениях раскрытия трещин так и в уравнениях движения жидкости (John, 1989).

Пласт принят с линейной прочностью (с упругой деформацией) и критерии разрыва сформулированы в соответствии с подходом Гриффита в величинах (значениях) толщины в пласте (т.е. критическое значение интенсивности напряжений K_{Ic}). Для большинства моделей течение внутри трещины аппроксимировано с уравнением для ламинарного течения ньютоновской жидкости или жидкости, подчиняющейся степенному закону течения между двумя параллельными плоскостями. Поглощение (утечка) обычно рассматривается как одномерное и перпендикулярное поверхности разрыва (John, 1989: Baker Hughes Incorporated, 2013).

В ходе наших исследований были использованы как фактические данные нефтяных месторождений, так и литературные. В качестве объектов исследований рассматривались коллектора, представленные терригенными пластами нижнемелового возраста, в основном песчаниками и глинистыми слоями (покрышки), представленные аргиллитами. Глубины продуктивных пластов варьируются от 1700 до 3000 м. Дизайн ГРП был выполнен, как для эксплуатационных скважин, так и для нагнетательных. Задавалось порядка восьми и более вариантов дизайна ГРП. В качестве жидкости-разрыва была выбрана пластовая вода. Для всех пластов (терригенных и глинистых) были заданы механические и фильтрационные свойства пород, а также все технические характеристики скважин (глубина забоя, наружный и внутренний диаметр труб, глубина НКТ, интервал и количество перфораций, диаметр перфораций, объём смеси, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и др.).

Результаты

После проведенных вариантов расчета гидравлического разрыва пласта по всем скважинам-кандидатам были выявлены следующие особенности:

- В результате всех исследований было выявлено, что трещина появляется на первой минуте закачки жидкости в продуктивный пласт. Это говорит о том, что вероятнее всего раскрылись уже существующие трещины.

- Во всех построенных графиках зависимости чистого давления от дебита закачки пластовых вод проявляется линейная зависимость, что говорит о нормальном и постепенном раскрытии и роста трещины.

- Рост трещины до верхнего и нижнего глинистого водоупоров характеризуется отклонением от линейной зависимости чистого давления от дебита закачки. То есть происходит понижение давления, т.к. формируются трещины в породе с другими физико-механическими свойствами.

- По мере увеличения дебита закачки, размеры трещины растут не одинаково. Сначала трещина в продуктивном пласте растёт до верхней покрывки. Затем достигает нижней покрывки. При дальнейшем увеличении дебитов закачки флюидов, происходит прорыв верхней и нижней покрывки.

- Все трещины моделей имели большие значения по длине от 12 до 27 м. В ходе моделирования меньше 12-ти или 13-ти м в длину получить трещины не удалось. Вероятнее всего на это влияют физико-механические свойства горных пород данного региона.

- Во всех моделях ГРП трещины находились в раскрытом состоянии, соответственно была увеличена проницаемость в заданных интервалах продуктивных пластов. Это очень важный параметр для нефтяников-разработчиков.

Заключение

Метод математического моделирования ГРП позволяет снизить риски при проведении данной операций непосредственно на производстве, а также правильно подобрать все расчетные параметры на том или ином этапе планирования разработки нефтяных и газовых месторождений.

Планирование гидравлического разрыва пласта до сих пор включает много не до конца изученных факторов, как скважинных, так и инженерных. Несмотря на опыт, приобретенный за все года применения ГРП, проведенные научные и производственные исследования, возможности определения фактической формы трещины, ее размеров (длина, ширина и высота), симметрии и азимута относительно скважины, проводимости трещины до сих пор еще детально не разработаны. Кроме того, наши возможности измерений физических свойств пород и напряжений на месторождениях, которые существенно влияют на распространение трещины ГРП, не являются совершенными. Однако, технология гидроразрыва пласта продвинулась значительно вперед благодаря разработке программных обеспечений, суперкомпьютерных технологий и оборудования нефтегазовой отрасли в целом. Это в свою очередь позволило увеличить производительность эксплуатационных и нагнетательных скважин на многих нефтяных и газовых месторождениях в мире.

Список литературы

1. *Каневская Р.Д.* Зарубежный и отечественный опыт применения гидроразрыва пласта. М.: ВНИИОЭНГ, 1998. 40 с.
2. *Каневская Р.Д.* Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. М.: Недра, 1999. 212 с.
3. *Экономидис М., Олайни Р., Валько П.* Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта. – Алвин, шт. Техас, США, 2002 г. 194 с., Пер. – Углов М., 2004 г.
4. *Baker Hughes Incorporated.* Пакет программ Meyer для моделирования гидроразрыва (MFrac). Справочник пользователя. 2013 г.
5. *John L, Gidley.* Recent advances in hydraulic fracturing. Monograph. Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Richardson. TX. U.S.A. 1989.