



Деформационные процессы, происходящие при гидроразрыве пласта в горизонтальных скважинах

А. Е. ВЕРИСОКИН – аспирант Институт нефти и газа, Северо-Кавказский федеральный университет, e-mail: verisokin.aleksandr@mail.ru

Л. М. ЗИНОВЬЕВА – к.т.н., доцент Институт нефти и газа, Северо-Кавказский федеральный университет

Д. Ю. СЕРИКОВ – к.т.н., доцент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, e-mail: serrico@rambler.ru

В статье исследованы проблемы деформации породы при проведении гидравлического разрыва в горизонтальных скважинах. Схематично показаны напряжения, действующие на участок породы при проведении разрыва пласта. Анализируется уравнение Пратса, из которого видно, что в районах проведения гидроразрыва пласта со значительной тектонической активностью могут возникнуть мощные деформационные процессы при осуществлении операции разрыва. Представлены схемы развития деформационных процессов в момент проведения многостадийного гидравлического разрыва пласта и в момент отбора пластового флюида. Отмечено, что массив горных пород выше продуктивного пласта между трещинами в невозмущенной части держится на зонах с первоначальным пластовым давлением, которые названы опорными зонами. Размеры этих опорных зон, по мере роста размеров областей дренирования скважин, уменьшаются и происходит их разрушение. При смыкании областей дренирования происходит перемещение массива горных пород над продуктивным пластом между трещинами. Авторы считают, что увеличение числа стадий ГРП и уменьшение расстояния между трещинами может служить одной из причин сейсмопроявлений при добыче углеводородов, особенно в районах со значительной тектонической активностью.

В последние годы все больший интерес у работников нефтегазовой промышленности вызывают вопросы изучения деформационных процессов, возникающих вследствие проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП). ГРП стал одним из основных и наиболее эффективных методов интенсификации добычи нефти [5]. В связи с этим, необходимо изучение подходов к рассмотрению деформационных процессов, возникающих при ГРП. На рис. 1 показаны напряжения, действующие на участок пласта.

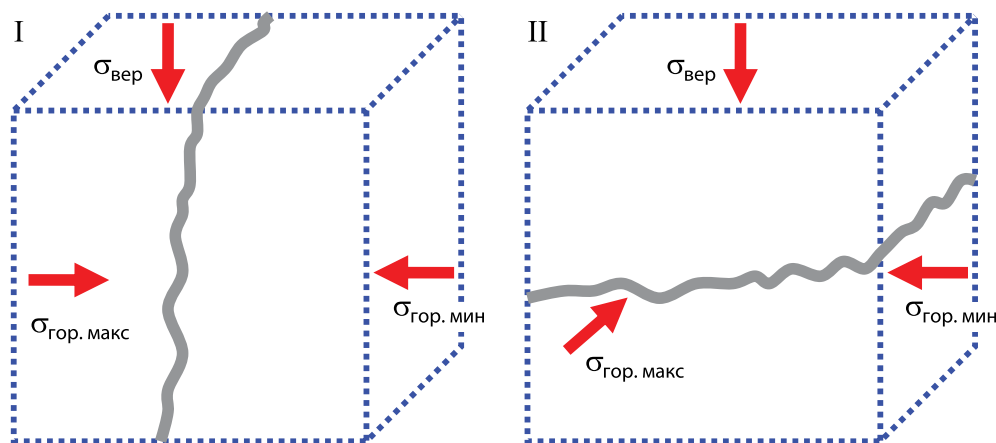


Рис. 1. Напряжения, действующие на элемент пласта

При условии $\sigma_{\text{вер}} > \sigma_{\text{гор. макс}} > \sigma_{\text{гор. мин}}$ ($\sigma_{\text{вер}}$ – вертикальное напряжение вышележащих пород, $\sigma_{\text{гор. макс}}$ и $\sigma_{\text{гор. мин}}$ – соответственно максимальное и минимальное горизонтальные напряжения), трещина образуется вертикальная. (рис. 1 а). При условии $\sigma_{\text{вер}} < \sigma_{\text{гор}}$, трещина – горизонтальная. В обоих случаях трещина развивается перпендикулярно минимальному напряжению.

При образовании вертикальной трещины ГРП в горизонтальной скважине минимальное напряжение можно определить из уравнения Пратса [5]:

$$\sigma_{\text{гор. мин}} = \frac{g}{1-g} (\sigma_{\text{вер}} - \alpha p_p) + \alpha p_p + \sigma_{\text{ex}}; \quad (1)$$

где:

β – коэффициент Пуассона; $\alpha = 0,5 - 1$ – коэффициент Биота;

P_p – пластовое давление;

σ_{ex} – дополнительные напряжения, вызванные тектонической активностью.

В районах проведения ГРП со значительной тектонической активностью (месторождения с величиной дополнительных напряжений больше нуля) могут возникнуть значительные деформационные процессы при осуществлении операции разрыва.

В работе [3] отмечено, что на динамику техногенных деформационных процессов оказывают влияние главным образом следующие факторы:

- размеры и форма залежи;
- петрофизические свойства коллекторов и окружающих их пластов;
- активность окружающей водоносной системы;
- снижение пластового давления во времени и по площади залежи.

Рассматривая все эти факторы, видим, что первые три являются объективными, и влиять на техногенные деформационные процессы во время проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП) мы можем через четвертое условие – путем изменения числа стадий ГРП и распространения трещин по площади залежи.

Данное обстоятельство должно учитываться при рассмотрении различных вариантов гидроразрыва пласта и при выборе оптимального числа стадий ГРП не только с точки зрения оптимизации добычи пластового флюида, но и минимизации последствий из-за техногенеза.

Как отмечалось в работах [1,2,6], по мере снижения начального пластового давления в продуктивных пластах растет эффективное напряжение, под действием которого деформируется (сжимается) скелет горных пород отдающих пластов и опускается вся толща горных пород выше продуктивной залежи. Во время проведения ГРП создается значительная репрессия, пласт деформируется (сдвигается). Поскольку породы пласта имеют какие-то определенные прочностные свойства в зависимости от их литологического состава и глубины залегания месторождения, деформация флюидоотдающих пластов и перемещение пластов над месторождением начинаются при достижении зоны снижения начального пластового давления (зоны возмущения) некоторого критического значения. Проследим динамику развития этих деформационных процессов на примере работы скважины с трехстадийным ГРП. При проведении ГРП на пласт действует значительная репрессия. Возникают так называемые репресссионные воронки $r(r)$ (рис. 2). При пуске данной скважины в эксплуатацию, пропорционально времени ее работы, растут размеры областей, дренируемые трещинами. Схематично это показано на рис. 3.

Допустим, что критический радиус ($r_{кр}$), то есть несущая способность вышележащих горных пород, несколько меньше половины расстояния между трещинами. До момента смыкания депрессионных воронок происходит перемещение кровли пласта в направлении зоны возмущения, а массив горных пород выше продуктивного пласта между трещинами в невозмущенной части держится на зонах с первоначальным пластовым давлением, которые будем называть опорными зонами (рис. 3). Размеры этих опорных зон, по мере роста размеров областей дренирования скважин, уменьшаются, происходит как бы их разрушение.

При смыкании областей дренирования опорная зона между трещинами пропадает, начинается осадка кровли продуктивного пласта в направлении зоны возмущения между трещинами, при этом три области превращаются в одну большую область дренирования.

Рассмотрим теперь динамику напряжений в кровле и подошве массива горных пород. До момента смыкания областей дренирования, указанный массив горных пород в районе каждой трещины имеет тенденцию к прогибанию.

Поэтому в кровле над продуктивным пластом в районе устья скважины будут расти сжимающие касательные напряжения, которые будем считать отрицательными, а на периферии кровли под границами областей дренирования растут растягивающие касательные напряжения, которые считаем положительными (рис. 3).

При смыкании областей дренирования начинается осадка массива горных пород над продуктивным пластом между трещинами, поэтому в центре массива, там, где до определенного момента времени росли растягивающие напряжения, появляются сжимающие касательные напряжения, которые увеличиваются по мере роста осадки земной поверхности.

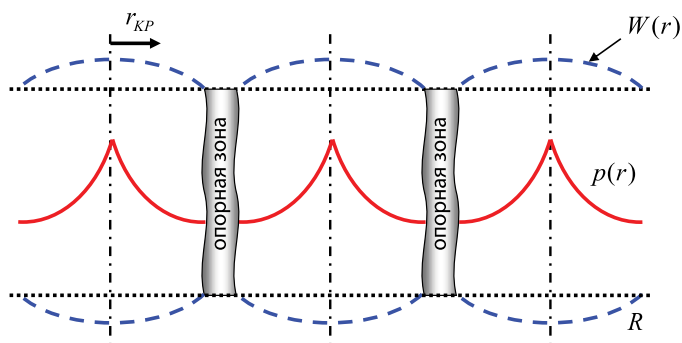


Рис. 2. Схема развития деформационных процессов в момент проведения трехстадийного ГРП $w(r)$ – смещение кровли и подошвы пласта, обусловленное повышенным давлением в воронке репрессии $p(r)$ с характерным радиусом R

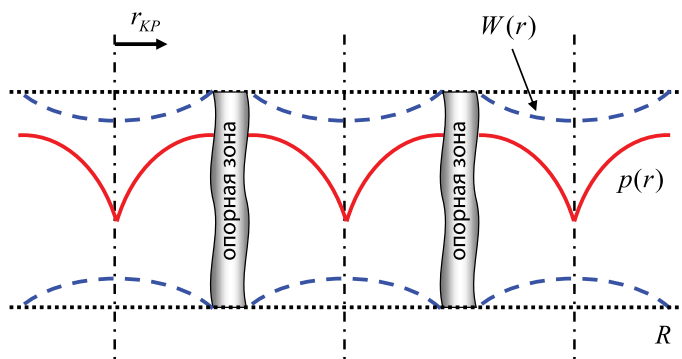


Рис. 3. Схема развития деформационных процессов при отборе пластового флюида после ГРП $w(r)$ – смещение кровли и подошвы пласта, обусловленное повышенным давлением в воронке репрессии $p(r)$ с характерным радиусом R

Аналогичным образом в центре подошвы горных пород над продуктивным пластом также меняется знак касательных напряжений. Таким образом, в области исчезнувшей опорной зоны происходит скачкообразное изменение направления касательных напряжений в кровле массива горных пород над продуктивным пластом.





Из вышесказанного можно сделать вывод, что увеличение числа стадий ГРП и уменьшение расстояния между трещинами может служить одной из причин сейсмопроявлений при добыче углеводородов. Ускорению процесса смыкания областей дренирования и ликвидации опорных зон между трещинами при проведении ГРП могут способствовать дополнительные стадии ГРП, а также сгущение трещин.

Амплитудность сейсмопроявлений зависит от накопленной энергии. Данная энергия пропорциональна снижению начального пластового давления в области дренирования продуктивного пласта скважинами (т.е. глубине депрессионных воронок) и размерам этих зон, т.е. размерам вовлекаемых в движение горных масс [3].

Все перечисленные выше негативные последствия могут иметь место и при работе скважин с одностадийным ГРП или группе скважин с ГРП, когда при их эксплуатации или исследовании создаются сначала большие репресссионные, а затем депрессионные воронки. Как следствие, возникают деформации коллектора и напряжения (без изменения их знака в процессе работы скважин с ГРП), значения которых могут превысить пределы прочности горных пород. Массив горных пород над продуктивным пластом состоит из различных пластов и пропластков, каждый из которых имеет свои прочностные свойства.

При развитии деформационных процессов возникают касательные напряжения в кровле и подошве каждого пласта. Это значит, что на контакте пластов (в кровле нижележащего и подошве вышележащего) напряжения имеют противоположный характер, т.е. при деформации всего массива горных пород над продуктивным пластом могут происходить подвижки пластов, слагающих этот массив. ●

Литература:

1. Верисокин А. Е. Влияние деформаций породы, возникающих при проведении гидроразрыва пласта, на прочность коллектора / Верисокин А. Е., Васильев В. А., Верисокина А. Ю., Зырянов М. О. // Материалы всероссийской научно-практической конференции. Дата проведения – 24 ноября 2017 г., СКФУ, ООО ИД «ТЭСЭРА», 2017. – с 172–176.
2. Верисокин А. Е., Граб А. Н., Граб Д. Н., Сериков Д. Ю. Анализ факторов, влияющих на работоспособность пакеров при проведении гидроразрыва пласта // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море: науч.-техн. журн. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2017. – №7. – С. 22–27.
3. Максимов В. М. Природно-техногенные осложнения при освоении месторождений углеводородов Арктического шельфа и подводном транспорте газа Часть 1 / В. М. Максимов, М. К. Тупысев, Л. Г. Кульпин, С. М. Пронюшкина // Бурение и нефть. 01.2015 г. – с. 24–29.
4. Свалов А. М. Влияние деформации породы в призабойных зонах скважин на вид индикаторных кривых// Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 2. – с. 63–65.
5. Чертенков М. В., Д. А. Метт / Опыт построения геомеханической модели для прогноза направления распространения трещины гидроразрыва пласта в условиях Урьевского месторождения / Нефтяное хозяйство, 06.2015 – с. 55–57.
6. Граб А. Н., Боднарчук А. В., Сериков Д. Ю. Способ удаления песчано-глинистой пробки в скважине и ее освоение в условиях аномально низких пластовых давлений // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море: науч.-техн. журн. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2017. – №6. – С. 13–16.