

РОЛЬ МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

Анкушев Я.Е. Email: Ankushev1158@scientifictext.ru

Анкушев Ярослав Евгеньевич – аспирант,
кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений,
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: в данной статье обсуждается роль механики горных пород при проектировании гидравлического разрыва пласта. Приводятся критические параметры, которые необходимо четко понимать при проектировании, описывается важность их взаимодействия. Приводятся формулы для расчета чистого давления гидроразрыва, ширины трещины и давления, определяемого из анализа падения давления. Также в статье приведен основной метод определения Модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Дополнительно обсуждается разность понятий статистического и динамического модуля Юнга и их роль при проектировании ГРП.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, модуль Юнга, высота трещины, коэффициент Пуассона, коэффициент утечек жидкости, коэффициент концевое экранирования.

ROLE OF ROCK MECHANICS IN DESIGN OF HYDRAULIC FRACTURING Ankushev Ya.E.

Ankushev Yaroslav Evgenievich – Graduate Student,
DEPARTMENT OF DEVELOPMENT AND EXPLOITATION OF OIL AND GAS FIELDS,
TYUMEN INDUSTRIAL UNIVERSITY, TYUMEN

Abstract: this article discusses the role of rock mechanics in the design of hydraulic fracturing. Critical parameters are given that must be clearly understood in the design; the importance of their interaction is described. Formulas for calculating the net fracture pressure, fracture width and pressure determined from the pressure drop analysis are given. The article also presents the main method for determining the Young's Modulus and the Poisson's ratio. Additionally, the difference between the concepts of the statistical and dynamic Young's modulus and their role in the design of hydraulic fracturing is discussed.

Keywords: hydraulic fracturing, Young's modulus, fracture height, Poisson's ratio, fluid loss, frac tips.

УДК 622.276.66

Для проведения гидравлического разрыва пласта необходимо предварительное проектирование, а после, успешное выполнение обработки пласта с дальнейшим получением желаемых характеристик трещины (длина, проводимость) с целью увеличения дебита скважины. Для достижения этой цели есть несколько критических параметров, которые подразделяются на две категории:

- 1) параметры, над которыми мы имеем небольшой контроль, но которые должны четко понимать.
- 2) параметры, которые мы контролируем, но оказываем меньшее влияние на процесс.

Первая категория включает в себя высоту трещины, коэффициент утечек жидкости, коэффициент концевое экранирования и модуль Юнга. Вторая категория включает скорость закачки и вязкость жидкости.

Важность и взаимодействие этих категорий лучше всего понять при рассмотрении уравнения моделирования трещины, включающего как геометрию трещины, так и материальный баланс. Для трещин с ограниченной высотой, в уравнениях 1, 2, и 3 показаны чистое давление, ширина трещины и перепад давления закрытия:

$$p_{\text{net}} = (p - \sigma_c) \propto \left[\frac{E'^4}{H^4} \left(\frac{\mu Q x_f}{E'} \right) + \frac{K_{\text{lc-app}}^4}{H^2} \right]^{1/4} \quad (1)$$

$$w \propto \left[\left(\frac{\mu Q x_f}{E'} \right) + \frac{K_{\text{lc-app}}^4 H^2}{E^4} \right]^{1/4} \quad (2)$$

$$\Delta P^* \propto \frac{E' C H p}{H^2} \quad (3)$$

ΔP^* - параметр давления, полученный в результате анализа падения давления, и связан со скоростью падения давления [1, с. 23-28].

Как показано, чистое давление напрямую связано с высотой трещины и модулем. Стоит обратить внимание на ограниченную роль вязкости, скорости закачки и длины трещины в чистом давлении. Модуль

также является доминирующим параметром при определении ширины трещины. Модуль влияет на поведение падения давления, и, следовательно, на коэффициент утечек (C). Точно так же уравнение (4) показывает поведение чистого давления для радиальной трещины, снова показывая важность модуля.

$$p_{\text{net}} = (p - \sigma_c) \propto \left[\frac{E'^4}{H^4} \left(\frac{\mu_{\text{Qxf}}}{E'} \right) + \frac{K_{\text{Ic-app}}^4}{H^2} \right]^{1/4} \quad (4)$$

Эти соотношения показывают, что чистое давление обработки и геометрия трещины контролируются высотой трещины и модулем. Высота трещины, как правило, контролируется внутренними напряжениями, и ее трудно измерить напрямую. Коэффициент утечек (C), является сложной функцией, которая зависит от жидкости гидроразрыва, относительной проницаемости пласта и добавок для контроля утечек жидкости. Из-за этого, коэффициент утечек должен определяться в полевых условиях, но анализ этих тестов зависит от модуля. Коэффициент концевой экранирования ($K_{\text{Ic-app}}$) плохо изучен и его невозможно измерить напрямую. Таким образом, единственная переменная, которую можно измерить путем лабораторных испытаний - это модуль.

Модуль, необходимый для проектирования гидроразрыва пласта и представленный в уравнениях выше, представляет собой модуль упругой деформации (E'), где $E' = E / (1 - \nu^2)$ показывает связь между (E'), модулем Юнга – (E) и коэффициентом Пуассона (ν). Поскольку коэффициент Пуассона обычно варьируется от 0.2 до 0.3 для углеводородсодержащих пород, он мало влияет на модуль деформации в пласте.

Для определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона в лабораторных условиях используется тест на трехосное сжатие. Цилиндрический образец керна, имеющий отношение длины к диаметру 2:1, нагружается в осевом направлении при постоянном увеличении давления. В дополнение к осевому напряжению, в процессе контролируются осевые и боковые деформации, которые в дальнейшем используются для определения E и ν .

Для пород осевая деформация является линейной на протяжении почти всего цикла приложения/снятия нагрузки. Отклонение от линейной части кривой осевой деформации будет представлять собой линейную упругую постоянную - модуль Юнга. Коэффициент Пуассона определяется отношением средней поперечной деформации к средней осевой деформации.

Модуль Юнга, необходимый для проектирования ГРП, называется статическим линейным модулем и может быть определен только при испытании на деформацию под напряжением, как описано выше. Многие при проектировании пытались использовать модуль Юнга, определенный по данным акустического каротажа. Модуль, определенный таким образом, называется динамическим, его значение почти всегда сильно отличается от статического лабораторного испытания. Кроме того, динамический модуль всегда больше, чем статический модуль, и, поскольку модуль непосредственно влияет на чистое давление и геометрию трещины, то можно получить значительные ошибки при прогнозировании трещины, используя динамический модуль из данных каротажа.

Модуль Юнга является чрезвычайно важным параметром в процессе гидроразрыва, который имеет прямую связь с чистым давлением обработки, геометрией трещины, шириной трещины и определением утечек жидкости по данным падения давления. Поскольку модуль Юнга можно легко измерить в лаборатории, рекомендуется, чтобы в любом месте, где используется гидроразрыв пласта для заканчивания скважин и интенсификации дебита, отбирались образцы керна и проводились тесты на трехосное сжатие для определения упругих постоянных. Модуль Юнга является единственным расчетным параметром для проектирования гидроразрыва, который может быть определен заранее с помощью лабораторных испытаний.

Поскольку чистое давление обработки напрямую связано с модулем Юнга, то есть острая необходимость в точных значениях модуля для пластов, где гидроразрыв пласта является основным методом заканчивания. Основная цель состоит в том, чтобы повысить чистое давление обработки (которое пропорционально ширине трещины) и создать широкие проводящие трещины [2, с. 37-49].

Список литературы / References

1. Nolte K.G. Determination of Fracture Parameters from Fracturing Pressure Decline // Society of petroleum engineers journal, 1979. С. 23-28.
2. Perkins T.K., Kern L.R. Widths of Hydraulic Fractures // Petroleum Technology journal, 1961. С. 37-49.