

РЕАКЦИЯ ПЛАСТА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАЗРЫВ

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 статье рассматриваются различные факторы, влияющие на повышение нефтеотдачи пласта при проведении гидравлического разрыва. Приводятся основные параметры, от которых зависит производительность скважины после проведения гидравлического разрыва пласта. Представлена формула для расчета безразмерной проводимости скважины (F_{cd}), которая является одной из основных для проектирования дизайна для любых типов коллекторов. Также приведена формула для расчета эффективного радиуса призабойной зоны пласта (r_w'), выраженная через площадь трещины и площадь эффективной призабойной зоны.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, безразмерная проводимость трещины, полудлина трещины, эффективный радиус призабойной зоны пласта.

RESERVOIR REACTION TO 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: the article discusses various factors affecting the enhanced oil recovery during hydraulic fracturing. The main parameters are given on which the well performance after conducting a hydraulic fracturing depends. A formula is presented for calculating the dimensionless well conductivity (F_{cd}), which is one of the main for design any type of reservoir. Also, a formula is given for calculating the effective radius of the bottomhole formation zone (r_w'), expressed in terms of the fracture area and the area of the effective bottomhole formation zone.

Keywords: hydraulic fracturing, dimensionless conductivity of the fracture, half-length of the fracture, the effective radius of the bottomhole formation zone.

УДК 622.276.66

Основная цель проведения стимуляции методом ГРП заключается в увеличении продуктивности скважин, т.е. увеличении скорости притока нефти или газа в ствол скважины. Поэтому ГРП можно рассматривать как процесс интенсификации притока. Однако ГРП позволяет повышать нефтеотдачу пласта за счет ряда вторичных эффектов:

1) Усреднение коллектора – т.е. вертикальная проводимая трещина дает отличный контакт между продуктивными пропластками коллектора по высоте, объединяя слои и линзы пласта в единую зону, обеспечивая ее хороший контакт по всей мощности.

2) Повышение нефтеотдачи низкопроницаемых пропластков – для большинства продуктивных зон характерно неравномерное распределение проницаемости. Продуктивность скважины, главным образом, формируется за счет работы более проницаемых слоев, ГРП предпочтительно стимулирует менее проницаемые участки пласта, увеличивая приток из данных зон и пропластков.

3) Увеличенный срок эксплуатации скважин – основное число скважин или месторождений ликвидируется при достижении минимального дебита, т.е. экономического лимита. ГРП, увеличивая производительность скважины, позволяет продлить эксплуатационный срок с более эффективным извлечением запасов.

В целом производительность после стимуляции методом ГРП определяют четыре основных параметра:

1) Длина трещины (x_f) – важность полудлины трещины, или проникновения, вполне очевидна, чем длиннее трещина, тем больше ее контакт с пластом, тем выше продуктивность.

2) Проводимость трещины (k_{fw}) – для повышения производительности скважины нефтеносная способность трещины должна быть выше, чем пласта, поэтому пропускная способность трещины должна быть достаточно высокой.

3) Проницаемость пласта (k) – пласты с ухудшенными коллекторскими свойствами (низкой проницаемостью) выигрывают от проводимых трещин, необходимо отметить, что важной переменной

является (k), а не (kh). Пропускная способность пласта (kh), определяет общие темпы отбора скважин, но реакция пласта на гидроразрыв определяется исключительно проницаемостью пласта k .

4) Прочие факторы – сетка скважин и азимут трещины, т.е. зависимость от площади дренирования/расстановки скважин.

В качестве примера, для длинных трещин, созданных в низкопроницаемых газоносных пластах (проницаемость для газа 0.005 мД) увеличение длины трещины является полезным. Однако в другой ситуации длина трещины может быть менее важным, когда проницаемость пласта 0.5 мД. В данном случае длина трещины абсолютно не влияет на продуктивность скважин. Это не следует рассматривать как признак того, что более проницаемым пластам не нужен гидроразрыв с закрепленной трещиной, в данной ситуации требуется создание более короткой и широкой трещины (с более высокой проводимостью k_{fw}), длина которой особой роли не играет.

Фактически, зависимость между продуктивностью после ГРП, полудлиной трещины (x_f) и проницаемостью пласта можно выразить с помощью одной переменной (F_{cd}) – безразмерной проводимостью трещины:

$$F_{cd} = \frac{k_f w}{k x_f}$$

В пластах с проводимостью от средней до высокой, реакцию пласта на гидроразрыв можно оценить с помощью уравнений радиального потока, по причине относительно короткого промежутка времени, в течение которого достигается псевдо-устойчивый режим. Для низкопроницаемых пластов ситуация обратная. После стимуляции скважины, на протяжении дальнейшего срока эксплуатации она может работать в состоянии переходного режима. Наиболее распространенные методы оценки реагирования пласта в условиях устойчивого режима были представлены МакГвайером и Сикорой, а также Пратцем. Оба метода основаны на определении индекса продуктивности (PI), или отношения дебитов стабилизировавшегося режима до и после стимуляции. Данное отношение можно определить, как кратность увеличения (КУ). Значение кратности увеличения для скважины, стимулированной ГРП, может варьироваться от 1 (без эффекта от ГРП), до 10 и выше при весьма высокой эффективности в низкопроницаемом коллекторе [1, с.401-403].

Для начала введем понятие эффективного радиуса приствольной зоны (r_w'), для определения кратности увеличения. Согласно работе Пратца, площадь вертикальной трещины, приравнивается к площади, увеличенной призабойной зоны, и вводит термин эффективного радиуса призабойной зоны (r_w'). В результате создание трещины в пласте можно рассматривать как «расширение» призабойной зоны, как показано на рисунке 1.

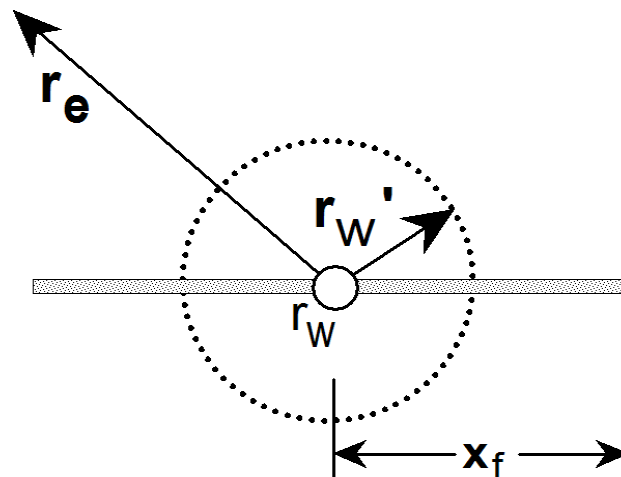


Рис. 1. «Расширение» призабойной зоны: (r_e) – Радиус дренирования скважины; (r_w) – Радиус призабойной зоны; (r_w') – Эффективный радиус призабойной зоны

Уравнения площади для трещины (A_F) и площади эффективной призабойной зоны (A_W) определяются следующим образом:

$$A_F = (2x_f) \times 2 \times h$$

$$A_W = 2\pi \times r_w' \times h$$

где (x_f) – длина трещины; (h) – эффективная мощность пласта (предполагается, что трещина полностью проникает по высоте в эту зону); (r_w') - радиус призабойной зоны с тем же потенциалом притока, что и у плоской трещины.

Для простого определения значения эффективного радиуса призабойной зоны можно приравнять площади идеальной расширенной зоны и фактической плоской трещины:

$$r_w' = \frac{2}{\pi} \times x_f$$

В реальности простое приравнивание зон притока несколько оптимистично, и фактическое теоретическое значение эффективного радиуса призабойной зоны равно:

$$r_w' = 0.5x_f$$

и даже это значение определяется исходя из трещины с бесконечно высокой удельной проводимостью, т.е. вся площадь сечения длинной плоской трещины подвержена низкому динамическому забойному давлению, внутри трещины перепада давления не создается [2, с.105-118].

Синко-Ли первым представил график, определяя прямую зависимость безразмерной проводимости трещины от эффективного радиуса призабойной зоны. Эта зависимость лежит в основе дизайна гидроразрыва для любых пластов, за исключением коллекторов с чрезвычайно низкой проницаемостью. Например, для (F_{CD})> 20, (r_w') = 0.5 x_f , и трещина эффективно работает как трещина с бесконечно высокой проводимостью. С другой стороны, для (F_{CD})<0.5, (r_w') связан строгой зависимостью с проводимостью ($k_f w$):

$$r_w' \approx 0.28 \times \frac{k_f w}{k}$$

а длина создаваемой трещины не играет совершенно никакой роли.

Можно показать, что для расчетов эффективного радиуса призабойной зоны, оптимальное значение (r_w') достигается при величине (F_{CD}) приблизительно равной 2. Т.е. для данного объема проппанта можно создать короткую широкую трещину с высоким значением (F_{CD}), или, альтернативно, можно создать длинную узкую трещину с низким значением (F_{CD}), но важно отметить, что этот вариант, возможно, не окажется оптимальным решением с экономической точки зрения или нефтеотдачи [3, с. 253-264].

Список литературы / References

1. McGuire W.J. and Sikora. The effect of vertical fractures on well productivity // Trans. AIME, 1960. № 219. С. 401-403.
2. Prats M. Effect of Vertical Fractures on Reservoir Behavior // Society of petroleum engineers journal, 1961. С. 105-118.
3. Cinco-Ley H., Samaniego V.F. Transient Pressure Behavior for a Well with a Finite Conductivity Vertical Fracture // Society of petroleum engineers journal, 1978. С. 253-264.