

## К ВОПРОСУ О ГИДРОРАЗРЫВЕ НЕФТЕНОСНЫХ И УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД

**Т. К. Ахмеджанов**, д.т.н, проф., **О. П. Помашев**, к.т.н.,  
**Т. У. Камбаков**, к.т.н., **В. Ф. Грибанов**

Казахский национальный технический университет  
им. К. И. Сатпаева

---

Рассматривается невозможность трещинообразования при проведении «гидро-разрыва» в горных породах, находящихся глубоко и при всестороннем сжатом состоянии. Отмечается, что от стенок скважины под действием жидкости высокого давления берут начало большое количество радиальных поровых канавок, обеспечивающих расход жидкости, поступающей по трубе к нефтяному пласту напротив перфорированного участка. Масса песка, закачиваемого в поровые канавки, составляет лишь до 3,8 % объема всех пор цилиндрического пространства вокруг скважины, содержащего канавки, что свидетельствует о невозможности трещинообразования.

**Ключевые слова:** горные породы, гидроразрыв нефтеносных горных пород, трещинообразование.

— — —

Мақалада тереңде барлық тұс-тұстан қысылып жатқан тау жыныстарын сұйықпен жару мүмкін еместігі қаралған. Ұңғы қабырғасынан су қысымынан радиус бағытымен көптеген тар тесік іздер басталып, осылар құбырмен ағып келіп жатқан суды таратады да жыныстарда жарықша туындамайды. Тәжірибелерде келтірілген тар тесік іздеріне айдалып толтырылған құм массаларының көлемін барлық ұңғы түбі айналасындағы тесік іздер тараған аудандардағы қуыстар көлемдерінің суммасымен салыстырғанда тесік іздер қуыстардың тек 3,8 % дейін алады екен. Ал, бұл жарықшалардың туындамайтынын анықтайды.

**Түйінді сөздер:** тау жыныстары, мұнайлы тау жыныстарының гидроүзілісі, жарықтүзілу.

— — —

We consider the impossibility of cracking during the “fracture” in the rocks that are deep and fully compressed. It is noted that from the borehole under the action of fluid pressure originate a large number of radial pore grooves that ensure flow of fluid flowing through the pipe to the oil reservoir in front of the perforated area. Examples from the mass of sand pumped into porous grooves are some 3.8 % of all long cylindrical space around the well containing the groove, which indicates the impossibility of cracking.

**Key words:** geological mineral, hydraulic fracturing of oil-bearing geological minerals, crack formation.

Понятие гидроразрыва нефтяного пласта начинает развиваться в 50-е гг. прошлого столетия [1, 2]. К концу XX и началу XXI в. среди исследователей появились сторонники, считавшие гидроразрыв горных пород глубоких горизонтов, находящихся под всесторонним сжатием, возможным. Этому способствуют укоренившийся подход и убежденность в достоверности выводов на основе исследований ИГД СО РАН и МГУ.

Однако следует отметить, что понятие «гидроразрыв» нефтяного пласта или «гидроразрыв» горных пород массива, находящихся в условиях естественного залегания, не касается процессов, происходящих в порах горных пород при закачивании жидкости в скважины под большим давлением. Более того, это не объясняет причину реального распределения объема жидкости в каналах, образуемых в нефтяном пласте призабойной зоны скважины.

В настоящее время наблюдаются попытки уточнить и детализировать терминологию в данном вопросе, например в работе [3], употребляется термин «флюидоразрыв». Автор как сторонник гидроразрыва пород, считает возможным конкретно ориентировать трещину разрыва, расположенную вертикально или поперек оси скважины, соответственно нанося «иницирующие щели» на необходимых участках стенки скважины. При этом отмечается, что «флюид начинает проникать между блоками и воздействовать на другие блоки. Прочность блоков выше сцепления между ними, поэтому блокам легче раздвигаться, чем разрываться». Последнее утверждение о раздвижении блоков под воздействием флюидов является ошибочным, так как в условиях массива блоки лежат обычно очень плотно друг к

другу и им некуда раздвигаться. Выражение... «флюид будет пробивать себе дорогу между блоками»... имеет определенный смысл. Однако здесь правильнее будет сказать, что флюид пробивает зигзагообразную канавку с весьма малым сечением. Таких канавок, служащих для движения флюида вокруг забоя скважины, имеющей цилиндрическую поверхность, достаточно много. Их суммарную проводимость можно записать в следующем виде:

$$V = \sum_{i=1}^n \vartheta_i \cdot S_i ,$$

где  $V$  – объем жидкости;

$\vartheta_i$  – скорость движения жидкости в  $i$ -том канале;

$S_i$  – поперечное сечение  $i$ -того канала;

$n$  – общее число, направленных радиально от скважины всех  $i$ -тых каналов, образованных нагнетаемой жидкостью.

Если этот суммарный объем жидкости, протекающей через все каналы, умножить на плотность жидкости  $\rho$ , то получается сумма расходуемой массы жидкости в единицу времени, протекающей по всем образованным каналам нефтяного пласта.

В работе [4] отмечается, что масса жидкости, как расход в единицу времени, проходит через любое сечение трубки тока, образованное устьем скважины, сечениями обсадных труб, перфорированным участком трубы, суммарным сечением всех канавок, радиально начинающихся от цилиндрической поверхности, увеличенной в диаметре разрушением кусков пород «дезинтеграционной зоны» вокруг скважины. Вместе с тем необходимо констатировать, что большое давление (порядка 140 МПа) закачиваемой жидкости в скважину для осуществления «гидроразрыва – флюидоразрыва», во-первых, отрывает ослабленные куски пород дезинтеграционной зоны в сторону оси скважины, увеличивая цилиндрическую поверхность в породах вокруг перфорированного участка трубы. Во-вторых, способствует образованию множества канавок, направленных радиально от стенки нагнетательной скважины, которые в конечном итоге увеличивают дебит скважины без трещинообразования в породах пласта по причине всестороннего сжатия пласта.

Автор работы [3] применил флюидоразрыв для закачивания в породы кровли угольных пластов Кузбасса. В соответствии с экспериментальными данными разработаны способы и средства технических приложений флюидоразрыва, а именно: управление труднообрушаемой кровлей; дегазацией угольных пластов; добычей ценных кристаллов и строительного камня и др. Установлено, что ослабление прочности пород кровли происходит под действием закачиваемой воды, и потому при разработке угольных пластов с полным обрушением кровли породы будут обрушаться мелкими блоками, облегчая процесс управления кровлей. Указанные причины способствуют предупреждению и ликвидации динамических явлений (горных ударов) в очистных забоях угольных шахт.

Использование дегазационных скважин, пробуренных до угольного пласта с дневной поверхности, является для флюидоразрыва малоэффективным. Применение дегазационных скважин по прямому назначению – для отбора метана из пласта и вмещающих пород нашло широкое применение во многих странах мира, в том числе США, РФ, а также РК (Карагандинский угольный бассейн). Для дегазации угольных пластов бурят большое количество скважин, которые эксплуатируются длительное время (2-3 года) до начала выемки пластов. Заблаговременная дегазация [5] позволяет получить значительный экономический эффект и повысить безопасность работ по газовому фактору.

В работах [6, 7] отмечается: «В образованные трещины жидкостью разрыва транспортируется зернистый материал (проппант), закрепляющий трещины в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления». По нашему мнению, правильным можно считать заключение о том, что увеличивается конечная нефтеотдача за счет приобщения к выработке слабодренируемых зон и пропластков.

В работе [8] верно говорится о том, что технологии ГРП различаются прежде всего по объемам закачки технологических жидкостей и проппантов, а далее слова «соответственно, по размерам создаваемых трещин» – верны в том, что процесс закачки жидкости и проппанта все же происходит в объемы

каналов различной длины, образованных за счет пробивания межпоровых стенок жидкостью при прорастании (от поры к поре) длины каналов в радиальных направлениях от скважины.

Во многих литературных источниках при гидроразрыве пласта (ГРП) утверждается, что «трещины» зачастую имеют длину 10-20 м. При этом тут же приводится масса десятков метров кубических жидкости с проппантом. Из этих источников массу проппанта приблизительно можно считать равной 20 т. Используя именно эти данные публикаций, можно выполнить следующие приближенные расчеты, опровергающие наличие трещинообразования в породах при ГРП. Для расчета предположим, что мощность нефтяного пласта  $h = 2$  м, диаметр скважины напротив перфорированного участка ее  $d = 40$  см, включая и толщину стенки, ослабленной «дезинтеграционной зоной», удельная масса проппанта  $\rho = 2,5$  т/м<sup>3</sup>. И еще при расчетах используем общепринятый коэффициент пористости нефтеносных пород, равный  $K_{пор} = 0,15$ .

Согласно данным литературных источников, принимаем длину образовавшихся под действием ГРП поровых каналов, равной  $R \cong 15$  м;  $R = 20$  см – радиус скважины с обрушенной «дезинтеграционной зоной» в районе перфорированного участка.

Вычислим объем пород, куда закачивается проппант (песок) при ГРП, по формуле:

$$\begin{aligned} V &= \pi R^2 h - \pi r^2 h = \pi h (R^2 - r^2) = 3,14 \cdot 200 [(1500)^2 - (20)^2] = \\ &= 3,14 \cdot 200 \cdot 2249600 = 1412748800 \text{ (см}^3\text{)} \approx 1412,75 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Поровые пустоты в этом объеме занимают:

$$V \cdot K_{пор} = 0,15 \cdot 1412748800 = 211912320 \text{ (см}^3\text{)} \cong 211,9 \text{ м}^3.$$

При удельной массе проппанта  $\rho = 2,5$  т/м<sup>3</sup> рассчитаем, сколько проппанта может потребоваться для заполнения всех пустот в цилиндрическом объеме в радиусе  $R = 15$  м:

$$V \cdot K_{пор} \cdot \rho = 211,9 \cdot 2,5 = 529,78 \text{ (т)}.$$

По данным литературных источников, масса израсходованного проппанта примерно равна  $m = 20$  т. Это говорит о том, что проппантом занимается лишь

$$\frac{20 \cdot 100\%}{529,78} \cong 3,78\%$$

всех поровых пустот, в том числе объемы заново образованных канавок под действием закачиваемой жидкости.

В США, Канаде и некоторых странах Западной Европы применяют технологию массивованного ГРП, т. е. создают трещины протяженностью 1000 м и более с закачкой от сотен до тысяч тонн проппанта. Эти данные также можно проверить на образование поровых каналов, но не трещин длиной «до 1000 м и более», т. е. выполнить аналогичные в вышеприведенной задаче расчеты. Для этого предположим, что мощность пласта равна  $h = 2$  м, а величины  $d = 40$  см,  $R = 1000$  м, и массу проппанта  $m \cong 1000$  т принимаем согласно литературным источникам. В этом случае объем всех поровых пустот и каналов равен:

$$V = \pi R^2 h - \pi r^2 h = \pi h (R^2 - r^2) = 3,14 \cdot 2 [(1000)^2 - (0,2)^2] = 6279999,7 (\text{м}^3)$$

Рассчитаем, сколько проппанта потребуется для заполнения всех пустот в цилиндрическом объеме в радиусе  $R = 1000$  м:

$$V \cdot K_{\text{п}} \cdot \rho = 6279999,7 \cdot 0,15 \cdot 2,5 = 2354999,8 \text{ (т)}.$$

Приведенная в литературе масса проппанта  $m \cong 1000$  т, израсходованная при проведении ГРП, занимает лишь

$$\frac{1000 \cdot 100\%}{2354999,8} = 0,043\% .$$

всех поровых пустот, включая и объемы образованных при ГРП канавок.

В следующем примере использованы данные о том, что в Германии расход проппанта в большинстве случаев составлял 100 т/скважину. Средняя длина трещин доходила до 325 м. Так

как «высота трещин изменялась в пределах от 10 до 115 м», то принимаем мощность газоносного пласта равным примерно  $h = 60$  м. Диаметр скважины принимаем равным  $d = 90$  мм.

На основании вышеприведенных данных выполним расчеты: всего породного объема, в образованные канавки которого закачивается проппант; суммарного чистого порового пространства, занимаемого в породном объеме; всего возможного количества проппанта для заполнения всех пустот и сравнение реально расходуемой массы проппанта с предположительной массой, занимающей все пустоты в породном объеме, подвергшемся воздействию ГРП.

Таким образом:

$$V = \pi R^2 h - \pi r^2 h = \pi h (R^2 - r^2) = 3,14 \cdot 60 [(325)^2 - (0,045)^2] \approx 19899750 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$V \cdot K_{\Pi} = 19899750 \cdot 0,15 = 2984962,5 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$V \cdot K_{\Pi} \cdot \rho = 19899750 \cdot 0,15 \cdot 2,5 = 7462406,25 \text{ (т)};$$

$$\frac{m \cdot 100 \%}{V \cdot K_{\Pi} \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 100 \%}{7462406,25} \cong 0,001 \%$$

Анализируя приведенные приближенные расчеты массы проппанта, закачиваемого при ГРП в канавки и пустоты в нефтегазовых пластах, приходим к выводу, что проппант занимает очень малый объем, что составляет 0,001-3,78 % всех пустот. Следовательно, при проведении ГРП образуются не трещины, а радиальные поровые канавки, которые имеют очень малый суммарный объем и, как следствие, достигаемые при ГРП результаты по повышению коэффициента нефтеотдачи пластов незначительны.

## Литература

1. Желтов Ю. П. Исследования механизма гидравлического разрыва пласта: Автореф. ... канд. техн. наук - М., 1957. - 25 с.
2. Христианович С. А. Исследования механизма гидравлического разрыва пласта: Сб. науч. ст. Ин-та геологии и разработки горючих ископаемых АН СССР. - 1960. - Т. 2. - С. 159-165.

3. *Кю Н. Г.* Создание методов и средств флюидоразрыва горных пород: Автореф. ... докт. техн. наук. - Новосибирск, 1999. - 32 с.
4. *Помашев О. П.* О способе гидроразрыва нефтяного пласта // Поиск. - 2010. - № 1. - С. 262-266.
5. *Сикора П., Смыслов Д., Плетнер О.* Особенности заблаговременной дегазации угольных пластов методом бурения скважин с поверхности // Глюкауф. - 2008. - № 1. - С. 39-45.
6. *Каневская Р. Д.* К вопросу о расчете процесса вытеснения нефти водой из системы изолированных пропластков // Сб. науч. тр. ВНИИ. - Вып. 95. - М., 1986. - С. 31-32.
7. *Каневская Р. Д., Кац Р. М.* Аналитические решения задач о притоке жидкости к скважине с вертикальной трещиной гидроразрыва и их использование в численных моделях фильтрации // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. - 1996. - № 6. - С. 69-80.
8. *Константинов С. В., Гусев В. И.* Техника и технология проведения гидравлического разрыва пластов за рубежом: Обзорн. информ. - М.: ВНИИОЭНГ. Сер. «Нефтепромысловое дело», 1985. - С. 61.