

## К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

*Б.Н. Васюк, Общество изобретателей и рационализаторов Украины, г. Днепрпетровск*

Рассмотрены способы гидроразрыва пласта, применяемые при добыче сланцевого газа. Предложен новый способ локального гидроразрыва, предусматривающий бурение двух вертикальных скважин с горизонтальными стволами, направленными по продуктивному пласту, закачку под давлением жидкости разрыва в один из горизонтальных стволов, использование противоположащего – для создания депрессии на пласт. В данном случае развитие трещин разрыва происходит на участке пласта между горизонтальными стволами, что повышает эффективность метода и его экологическую безопасность.

Органическая модель образования природного газа заключается в накапливании органических остатков в осадочных породах морского дна, перемещении пласта, обогащенного органическими осадками, под воздействием последующего наноса осадков и тектонических процессов, в глубину земной коры, где возрастающие температура и давление определяют преобразование органики в углеводородное полезное ископаемое. Высказана гипотеза, что метан также может образовываться в верхней мантии Земли. Природный газ, мигрируя из глубоких горизонтов земной коры или расплавленных пород мантии в процессе ее естественной дегазации, по трещинам и разломам поднимается вверх в зоны наименьшего давления, в структурных ловушках, включающих пласт – коллектор и покрывку из непроницаемых пород, образует газовые залежи. Эти залежи относятся к пористым, трещиноватым, кавернозным породам: песчаникам, алевролитам, известнякам и т.д., объемы газа в залежах составляют от нескольких десятков тысяч кубических метров до триллионов [1].

Разработка месторождений, являющихся совокупностью газовых залежей, производится за счет пересечения продуктивных пластов вертикальными или наклонными скважинами, которые могут включать один или несколько горизонтальных стволов. Первоначальные периоды добычи газа характеризуются высоким пластовым давлением, за счет чего газ двигается в скважину без применения специальных методов увеличения его притока, высокими дебитами скважин, а также высоким давлением в устьях. В эти периоды продолжительностью 20 лет и более отбираются основные запасы газа из месторождения. В период уменьшения объема добычи газа снижаются дебиты скважин, пластовое и устьевое давления, возникает необходимость применения специальных методов повышения газоотдачи пластов: гидроразрыва, дополнительной прострелочной перфорации скважины и др. Газовые залежи в настоящее время являются основным, традиционным источником природного газа, однако их постепенное истощение на Земле определяет необходимость поиска новых, нетрадиционных источников этого полезного ископаемого.

К нетрадиционным источникам природного газа относятся:

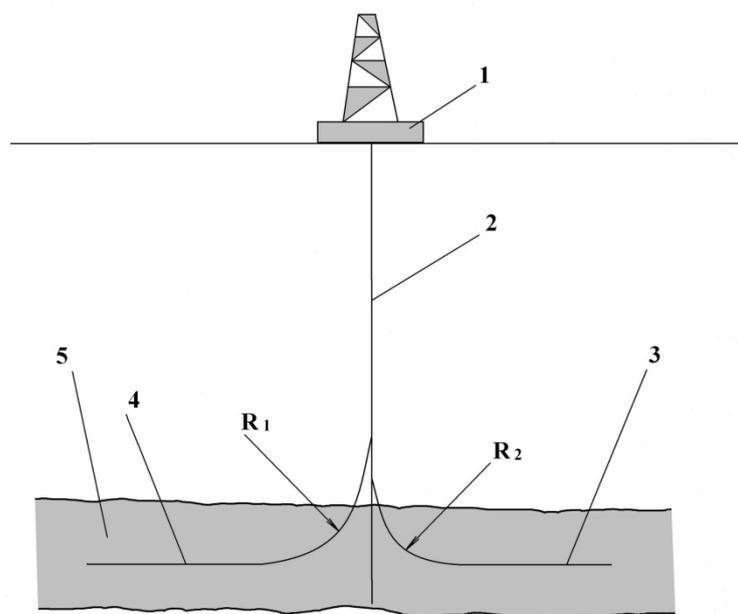
- газовые залежи в низкопроницающих коллекторах, ресурсный объем газа этих залежей в Украине превышает 8 трлн м<sup>3</sup> [2];
- угольные месторождения, являющиеся источником газа – метана, который может рассматриваться как самостоятельное полезное ископаемое; ресурсный объем метана в угольных месторождениях Донбасса составляет 12 – 25 трлн м<sup>3</sup> [2];
- залежи газогидратов, представляющие собой кристаллические соединения, которые образуются при определенных термобарических условиях из воды и газа; ресурсы метана в морских месторождениях газогидратов напротив Крыма оцениваются в 20 – 25 трлн м<sup>3</sup> [3];
- месторождения сланцевого газа, формирование которых связано с преобразованием (катагенезом) сланцевых пород, содержащих органическое вещество; основными факторами катагенеза являются температура, давление и поровые флюиды, под их воздействием на

определенном этапе процесса происходит выделение из органики газа, состоящего преимущественно из метана (75 – 95%), который, заполняя поры и микротрещины породы, образует залежи; ресурсный объем сланцевого газа в Украине 2 – 32 трлн м<sup>3</sup> [2].

В настоящее время в Украине, в плане освоения нетрадиционных месторождений газа, наиболее актуальным является вопрос добычи сланцевого газа [2].

Как показано выше, процесс формирования залежей сланцевого газа имеет определенную специфику, существенно отличаются физико – механические свойства и геологические признаки сланцевых газоносных пород и пород – коллекторов традиционных месторождений, сланцы, в частности, характеризуются повышенным содержанием глинистой фракции, пониженной пористостью и проницаемостью; эти отличия определяют необходимость при промышленной добыче сланцевого газа применять специальные технологии и технические средства.

Масштабная промышленная добыча сланцевого газа начата в 2002 году компанией Devon Energy в США на месторождении Barnett Shale (Интернет, wiki/Сланцевый\_газ). Эффективная добыча сланцевого газа обеспечивается применением специальной технологии, предусматривающей вскрытие продуктивного пласта многозабойными скважинами, включающими основной вертикальный или наклонный ствол и несколько боковых горизонтальных стволов, направленных по пласту. Схема вскрытия продуктивного пласта вертикальной скважиной с двумя горизонтальными противоположащими стволами показана на рис. 1.



*Рис.1. Схема вскрытия продуктивного пласта многозабойной скважиной: 1– буровая установка, 2– вертикальный ствол скважины, 3, 4– горизонтальные стволы, 5– продуктивный пласт,  $R_1, R_2$ – радиусы искривления вертикального ствола*

Вертикальный ствол бурят до почвы пласта и закрепляют обсадными трубами. От основного ствола последовательно отбуривают горизонтальные стволы и осуществляют их обсадку. После крепления скважины по длине горизонтальных стволов выполняется перфорация труб, цементного камня и горной породы кумулятивными перфорационными системами, применяется метод гидроразрыва пласта, при котором в скважину под давлением, превышающим давление разрыва пласта, закачиваются жидкость разрыва, суспензии жидкости – носителя с закрепляющим материалом (крупнозернистым песком) и продавочная жидкость; в результате

в обрабатываемом пласте образуются трещины, заполненные песком, что обеспечивает интенсификацию притока газа в скважину.

Эффективность данной технологии подтверждена экспериментально при добыче сланцевого газа, а также разработке традиционных газовых месторождений: с ухудшенными коллекторскими свойствами продуктивных пластов, на поздней стадии добычи, характеризующихся наличием застойных тупиковых зон и т.д., однако при определенном геологическом строении месторождения ее применение может не соответствовать требованиям экологической безопасности работ. В частности, при наличии водоносного горизонта, расположенного выше продуктивного пласта, тектонических нарушений горных пород, их неоднородности и трещиноватости, в результате гидроразрыва возможно образование открытых трещин не только в газоносном пласте, но и в покрывающих породах, загрязнение водоносного горизонта техническими флюидами гидроразрыва и углеводородами из продуктивного пласта. Для предотвращения указанных нежелательных последствий применяется более эффективный способ направленного гидроразрыва пласта, обеспечивающий образование трещин внутри газоносного пласта без нарушения целостности вмещающих пород.

Запатентован способ образования направленной вертикальной или горизонтальной трещины при гидроразрыве пласта [4], предусматривающий бурение из вертикальной скважины двух горизонтальных стволов, их перфорацию, закачку под давлением жидкостей разрыва. Горизонтальные стволы располагаются параллельно в одной вертикальной или горизонтальной плоскости, перфорируются в направлении друг к другу в плоскости, проходящей через оба ствола, в дальнейшем в эти стволы производится закачивание жидкости. В данном случае в обоих горизонтальных стволах за счет нагнетания жидкости создается высокое давление, предполагается, что развитие трещин будет происходить от каждого из стволов в плоскости их перфорации и навстречу друг другу до смыкания; в действительности развитие трещин не обязательно будет происходить в плоскости перфорации стволов, это направление будет определяться характеристикой напряженного состояния горного массива, геологическим строением, тектоникой месторождения, физико – механическими свойствами горных пород, другими факторами. Рассмотренный способ образования направленных трещин при гидроразрыве пласта не исключает возможности нарушения целостности пород, покрывающих продуктивный пласт, попадание жидкости гидроразрыва в вышележащие толщи.

С целью повышения эффективности способа направленного гидроразрыва пласта, обеспечения наиболее гарантированного образования трещин разрыва на заданном участке продуктивного пласта и в заданном направлении, в способе направленного гидроразрыва пласта, предусматривающем бурение по продуктивному пласту двух горизонтальных стволов, располагаемых в одной плоскости, перфорацию в этой плоскости стволов в направлении друг к другу, закачку в пласт под давлением жидкостей разрыва, предложено бурение каждого из горизонтальных стволов осуществлять из отдельной вертикальной или наклонной скважины, а закачку под давлением жидкостей разрыва производить через одну из вертикальных (наклонных) скважин в горизонтальный ствол, при этом другую скважину с горизонтальным стволом использовать для создания депрессии на продуктивный пласт. Заявка на патентование данного способа локального направленного гидроразрыва пласта, предложенного автором статьи, направлена в Государственную службу интеллектуальной собственности Украины (№ u 2013 02871), в настоящее время по этой заявке получено решение о выдаче декларационного патента на полезную модель №12872/ЗУ/13 от 10.06.2013.

Способ иллюстрируется схемой вскрытия газоносного сланцевого пласта (рис. 2). На земной поверхности 1 установлены буровые агрегаты 7 и 8, в глубине горного массива находится продуктивный пласт сланца 3, разработка которого неразрывно связана с технологией гидроразрыва. Агрегатами пробурены вертикальные скважины 2 и 6 до кровли продуктивного пласта (точки А и В), из этих скважин отбурены горизонтальные стволы 4 и 5, направленные по пласту параллельно друг другу. Скважины, включая горизонтальные стволы, закреплены обсадными трубами.

Для проведения локального гидроразрыва пласта скважина 6 с горизонтальным стволом 5 заполняется промывочной жидкостью нормальной плотности  $\rho_H = 1,26 \text{ г/см}^3$ , скважина 2 со стволом 4 – промывочной жидкостью пониженной плотности  $\rho_{II} = 1 \text{ г/см}^3$ , что достигается ее аэрацией или добавлением пенообразователей: сульфанола, лигносульфоната и т.д. Применение указанных промывочных жидкостей определяет различные значения гидростатического давления в горизонтальных стволах, расчет которых производится по формуле:

$$P = \rho g L, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность промывочной жидкости;  $g$  – ускорение силы тяжести Земли;  $L$  – глубина вертикальной скважины.

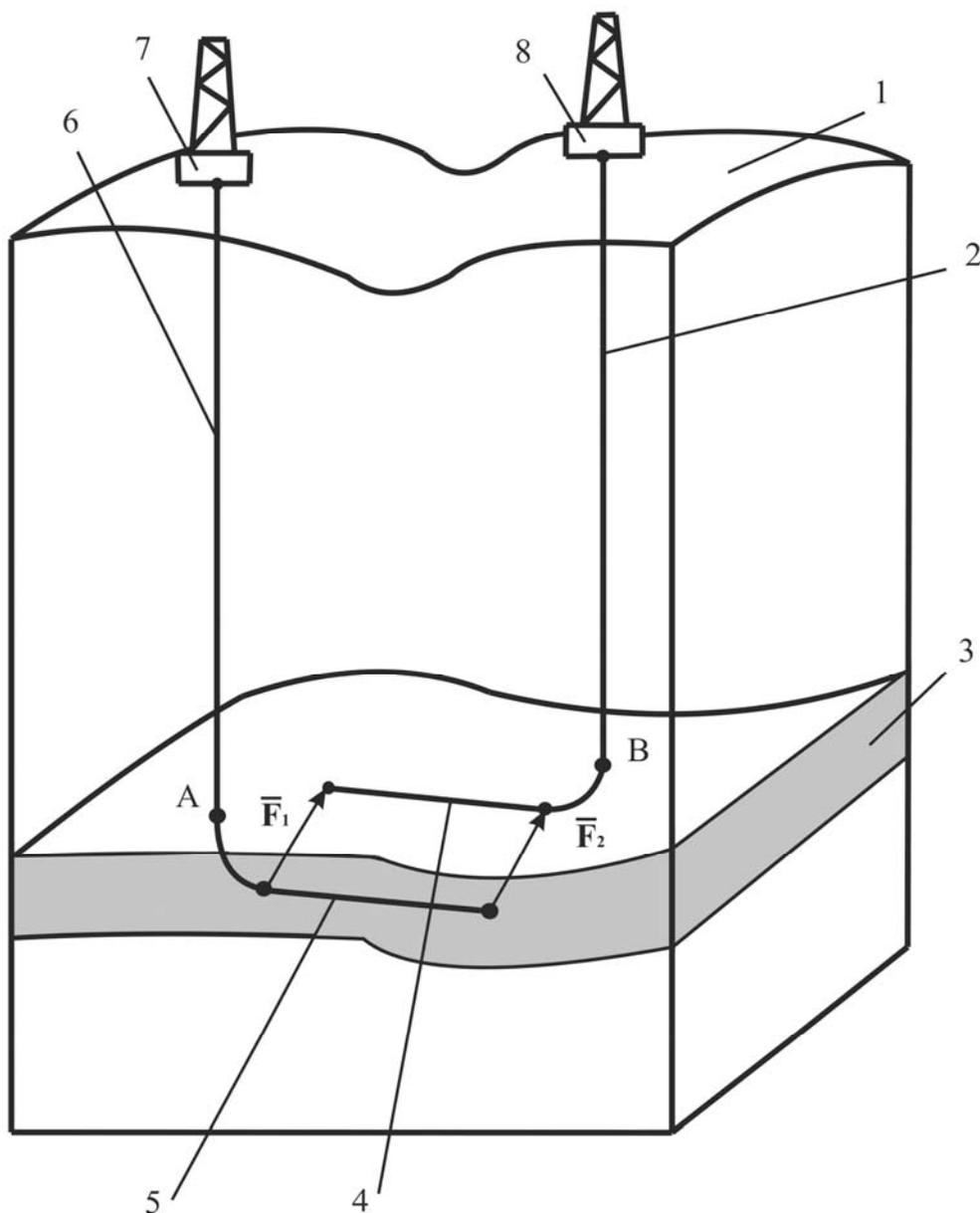


Рис. 2. Схема вскрытия газоносного сланцевого пласта

При глубине вертикальной скважины  $L = 2000 \text{ м}$  гидростатическое давление в горизонтальном стволе 5 составит  $P_H = 24,7 \text{ МПа}$ , в противоположащем стволе 4 –  $P_{II} = 19,6 \text{ МПа}$ . Перепад гидростатического давления:

$$\Delta P = P_H - P_{II} \quad (2)$$

$\Delta P = 5,1$  МПа. Данный перепад давления при гидроразрыве способствует локальному образованию трещин: в пределах площади между горизонтальными стволами, снижению давления гидроразрыва.

Для закачивания жидкостей в продуктивный пласт и последующей добычи газа горизонтальные стволы перфорируются в направлении друг к другу взрывными кумулятивными перфораторами, при этом простреливаются трубы, цементный камень и горные породы. В дальнейшем в вертикальную скважину 6 спускаются насосно – компрессорные трубы, в нижней части которых монтируется пакер и якорь, пакер устанавливается непосредственно выше продуктивного пласта, фиксируется в обсадных трубах якорем. Через насосно – компрессорные трубы в горизонтальный ствол под давлением закачивается жидкость разрыва, при этом давление в горизонтальном стволе увеличивается на величину забойного давления нагнетания, которое может достигать  $P_{НАГ} = 50$  МПа; в рассматриваемом случае при гидростатическом давлении  $P_H = 24,7$  МПа и давлении нагнетания  $P_{НАГ} = 30$  МПа происходит разрыв пласта; давление гидроразрыва:

$$P_{ГР} = P_H + P_{НАГ} \quad (3)$$

составляет  $P_{ГР} = 54,7$  МПа, перепад давления между горизонтальными стволами при гидроразрыве:

$$\Delta P_{ГР} = P_{ГР} - P_{П} \quad (4)$$

$\Delta P_{ГР} = 35,1$  МПа. Значительная величина перепада давления определяет развитие трещин разрыва от ствола 5 с высоким забойным давлением в сторону ствола 4 с низким давлением и только в пределах площади между стволами. Векторами  $F_1$  и  $F_2$  на схеме показано направление образования трещин при гидроразрыве пласта.

#### Выводы

Применение предложенного способа локального направленного гидроразрыва пласта обеспечивает, в сравнении с существующими методами, следующие преимущества:

– бурение горизонтальных стволов из отдельных вертикальных скважин дает возможность применения в скважинах промысловых жидкостей с различной плотностью, в результате обеспечивается определенный перепад гидростатического давления между горизонтальными стволами, что снижает давление гидроразрыва и возможность нежелательного образования трещин за пределами пласта;

– нагнетание жидкости разрыва под давлением в один из горизонтальных стволов, снижение гидростатического давления в противоположном, определяет развитие трещин в направлении из зоны высокого давления в сторону низкого и только в пределах площади заданного участка пласта: между горизонтальными стволами.

#### Список литературы

1. Горная энциклопедия: в 5 т. / Глав. ред. Е.А. Козловский. – М.: Сов. энцикл., 1984 – 1991. – Т. 2. – 575 с.
2. Ставицкий Е.А., Голуб П.С. Результати комплексних досліджень та обґрунтування перспективних зон і полігонів для пошуків сланцевого газу // Мінеральні ресурси України. – 2011, №2. – С. 4 – 12.
3. Бондаренко В.И., Ганушевич К.А., Сай Е.С. К вопросу скважинной подземной разработки газовых гидратов // Науковий вісник НГУ. – 2011. – Т.1. – С. 60 – 66.
4. Патент РФ 2176021, МПК E21B 43/26; 43/17. Способ образования направленной вертикальной или горизонтальной трещины при гидроразрыве пласта / С.К. Сохошко, С.И.Грачев – Опубл. 20.11.2011.