

УДК 622.243.24:245.14

С. В. Гошовский, д-р техн. наук; **Б. Н. Васюк**, канд. техн. наук

Украинский государственный геологоразведочный институт, г. Киев

К ВОПРОСУ О ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

Показано, что добыча сланцевого газа производится из скважин с горизонтальными стволами специальными техническими средствами, инструментами и технологическими приёмами. Приведена конструкция усовершенствованного фрезерного инструмента для применения при зарезке горизонтальных стволов и информация о перфорационных системах УкрГГРИ.

Ключевые слова: *сланцевый газ, горизонтальная скважина, фрезерный инструмент, перфорационные системы*

В последние десятилетия в Украине наблюдается дефицит собственных запасов углеводородного сырья и уменьшение объема его добычи, в частности, объем добычи природного газа с середины 70-х годов прошлого века уменьшилась с 68,3 до 20 млрд м³ [1]. Рассматривая природный газ как важный энергоноситель и учитывая, что геологическое строение газовых месторождений существенно различается, что и определяет специфику их разработки, кратко охарактеризуем основные источники этого углеводородного сырья.

Газовые залежи, как правило, представляют собой естественные скопления природного газа в ловушке, образованной пластом-коллектором и крышкой из непроницаемых пород, относятся к пористым, трещиноватым, кавернозным породам: песчаникам, алевролитам, известнякам и др. Объемы газа в газовых залежах составляет от нескольких десятков тысяч кубических метров до триллионов [2]. Разработка месторождений, являющихся совокупностью газовых залежей, производится из скважин с вертикальными, наклонными и горизонтальными стволами. Первоначальные периоды добычи газа характеризуются высокими дебитами скважин, а также высоким давлением в устьях. В эти периоды продолжительностью 20 и более лет отбираются основные запасы газа из месторождения. В период уменьшения объема добычи газа снижаются дебиты скважин, пластовое и устьевое давление, возникает необходимость внедрения специальных методов повышения газоотдачи пластов: гидроразрыв, дополнительная прострелочная перфорация скважины и др.

Газовые залежи являются основным, традиционным источником природного газа.

Отдельный источник природного газа – газовые залежи в низкопроницающих коллекторах. Разработка месторождений такого типа неразрывно связана с методом гидроразрыва пласта, который обеспечивает рентабельность добычи газа из плотных пород. Ресурсный объем газа низкопроницающих коллекторов в Украине превышает 8 трлн м³ [1].

Угольные месторождения также являются источником природного газа–метана, который можно рассматривать как самостоятельное полезное ископаемое. Метан из угольных пластов и углевмещающей толщи пород добываются из скважин, пробуренных в горных выработках, или с поверхности. При этом установлено, что в породах с низкой пористостью и газопроницаемостью, а также в угольных пластах, где метан находится в виде твердого раствора или адсорбированный, газоотдача низка; добыча газа из углепородного массива в таких условиях требует использования специальных технологий для изменения напряженного состояния массива и коллекторских свойств гидродинамическими или других методов. Ресурсный объем метана в угольных месторождениях Донбасса составляет 12–25 трлн м³ [1].

Рассмотрим газогидратные залежи. Газовые гидраты – кристаллические соединения, образующиеся в определенных термобарических условиях из воды и газа. Верхняя граница газогидратных залежей в акваториях обычно находится у поверхности дна. На суше верхняя

граница зоны образования гидратов метана находится на глубине более 260 м [3]. Суммарный объем запаса газа в глубоководной части Черного моря составляет 20–25 трлн м³, в том числе в центральной и восточной площадях – соответственно 7,0–7,7 трлн м³ и 5,7–7,0 трлн м³ [4]. Таким образом, залежи газовых гидратов являются одним из перспективных нетрадиционных источников углеводородов. Для освоения залежей твердых газогидратов необходимо создать эффективные технологии прямой их добычи или предварительной подготовки путем перевода газа из твердого состояния в свободное непосредственно в пластах.

В настоящее время наиболее близкими к промышленной добыче из нетрадиционных источников углеводородов являются месторождения сланцевого газа. Сланцевый газ природный добывается из сланцевоподобных пород, содержащих органическое вещество, которое состоит преимущественно из метана (75–95 %). Пористость указанных пород восточного нефтедобывающего региона Украины – 1–3 %, в отдельных случаях – 20–30 %, содержание органического вещества – 3–5 %, в отдельных пропластках – 15–20 % [1]. Генерация сланцевого газа происходит в породе в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре. Газонасыщенность пород составляет от десятых частей процента до нескольких процентов, мощность продуктивных пластов может достигать сотен метров и залегать на глубине 3000 м и ниже. Отложения сланцевого газа в Украине связаны со сланцами нефтегазоносных бассейнов, а также месторождениями горючих сланцев Украинского кристаллического щита, Вольно-Подолья и Причерноморья. Ресурсный объем сланцевого газа 2–32 трлн м³ [1].

Специфика месторождений сланцевого газа определила нестандартную схему вскрытия продуктивного пласта: бурение вертикальной или наклонной скважины, ее искривление в заданном направлении, бурение горизонтального ствола по пласту. После крепления скважины по длине горизонтального ствола выполняют перфорацию труб, цементного камня и горной породы кумулятивными перфорационными системами с применением метода гидроразрыва пласта, что обеспечивает создание трещин в породе и приток газа в скважину.

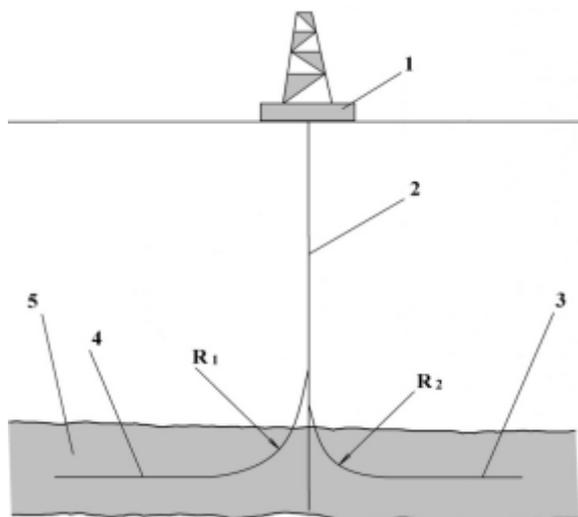


Рис. 1. Схема вскрытия продуктивного пласта многозабойной скважиной: 1 – буровая установка, 2 – вертикальный ствол скважины, 3, 4 – горизонтальные стволы, 5 – продуктивный пласт, R1, R2 – радиусы искривления вертикального ствола

На практике продуктивный пласт вскрывают многозабойными скважинами, включающими основной вертикальный и несколько боковых горизонтальных стволов, направленных по пласту [5]. Схема вскрытия продуктивного пласта скважиной с двумя горизонтальными противолежащими стволами показана на рис. 1. Бурят вертикальный ствол до почвы пласта и закрепляют обсадными трубами. От основного ствола последовательно отбуривают горизонтальные стволы и осуществляют их обсадку. После прострелочных работ производят гидроразрыв пласта и добычу газа.

При сооружении скважин для добычи сланцевого газа довольно сложно резать боковые стволы и применять перфорационные системы. Подробнее рассмотрим особенности этих систем далее.

Забуривать боковые стволы целесообразно в интервале сплошного выреза обсадной колонны турбинным отклонителем [6]. Колонну длиной 6–8 м и более вырезают специальным фрезером. Интервал выреза цементируются и на забой спускают отклоняющую компоновку (турбобур с накладкой и кривым переводником), которую ориентируют в проектном направлении, и забуривают боковой ствол. После углубления скважины в породе

на 8–10 м компоновку поднимают и замеряют зенитный угол и азимут скважины. Забуривание считается законченным, если дополнительный ствол находится в проектом направлении.

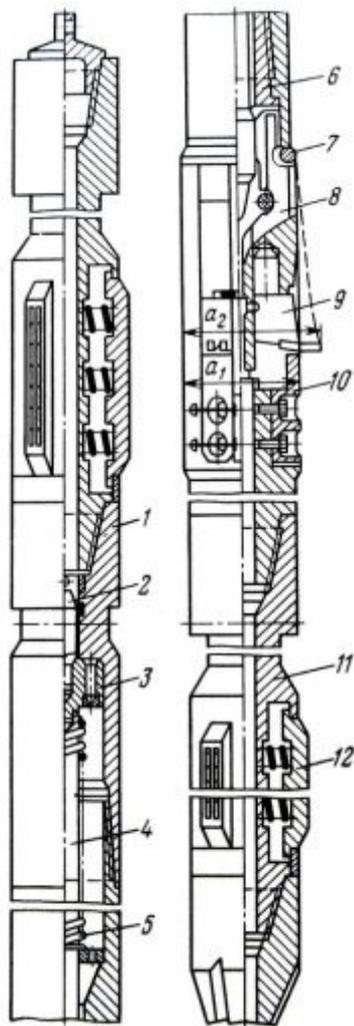


Рис. 2. Схема универсального
вырезающего устройства
конструкции ВНИИБТ [6]: 1 –
корпус, 2 – игла, 3 – поршень, 4
– толкатель, 5 – возвратная
пружина, 6 – патрон, 7 – ось, 8
– рычаг, 9 – резец, 10 –
ограничитель, 11 – центратор,
12 – направляющие

Рассмотрим инструмент для фрезерования участков колон. Схема универсального вырезающего устройства конструкции ВНИИБТ (рис. 2) [6], представляет собой фрезерующий инструмент, резцы которого выдвигаются под действием давления промывочной жидкости. Для фрезерования труб инструмент опускают в скважину до интервала, в котором спроектировано удаление участка обсадной колонны, затем в инструмент подают промывочную жидкость, которая, протекая через кольцевые зазоры и насадки, создает перепад давления, определяющего перемещение поршня 3 с толкателем 4 и выдвижение рычагов 8 с резцами 9 из пазов патрона 6. Рычаги с резцами, поворачиваясь на осях 7, прорезают стенку обсадной колонны и выдвигаются до упора рычагов в ограничитель. Далее вращая вырезающее устройство и подавая осевую нагрузку на резцы фрезеруют обсадные трубы по торцу. При прекращении подачи бурового раствора и отрыве резцов от поверхности резания возвратная пружина 5 перемещает поршень с толкателем в исходное положение и резцы возвращаются в пазы патрона. Несмотря на то, что это устройство разработано более 20 лет назад, его конструкцию в принципиальном отношении используют и в настоящее время.

Теперь рассмотрим недостатки этого устройства. Как было показано, при фрезеровании труб выступ толкателя контактирует с рычагом, для перемещения рычага в транспортное положение толкатель должен занять верхнее положение. Если толкатель заклинит (например, он забьется металлической стружкой или шламом), его перемещение вверх будет невозможно, рычаг останется в рабочем положении и будет выступать за габариты корпуса, в результате чего возникнет аварийная ситуация.

Фрезер Каммерера (США) имеет несколько отличную от показано на рис. 2 конструкцию (рис. 3). Перемещение лап 6 с резцами 7 в рабочее положение также обеспечивается давлением промывочной жидкости, однако связано не с движением толкателя сверху вниз, а с движением корпуса 4 снизу вверх. Рабочее положение лап показано на рис. 3, б, их отклонение в транспортное

положение возможно только при перемещении корпуса и лап относительно шпинделя 1. Конструктивные особенности этого фрезера снижают опасность его заклинивания [6], однако такая возможность сохраняется.

В целях повышения надежности рассмотренных устройств разработан усовершенствованный фрезерный инструмент ФРИ-1 (рис. 4), включающий два центратора 1 и 9, корпус 3, где размещен поршень 2 с присоединенными на оси 10 лопастями 4, армированными твердосплавными пластинами 5; внутри корпуса установлены внутренняя труба 6, пружина 8 и толкатель 7, взаимодействующий с осью поршня. Для фрезерования обсадных труб инструмент опускается в скважину; при этом поршень под действием пружины находится в крайнем верхнем положении, лопасти с резцами – в транспортном. На проектной глубине инструменту сообщается вращение, подается промывочная жидкость,

которая, перетекая через зазор между корпусом и поршнем, за счет гидравлического сопротивления создает избыточное давление на поршень, определяя его перемещение вниз. При движении поршня лопасти с твердосплавными пластинами выдвигаются, перерезая обсадную трубу; охлаждение резцов и удаление стружки обеспечивается потоком жидкости, поступающей в скважину через отверстия в корпусе. После перерезания трубы резцы занимают рабочее положение и труба фрезеруется. По завершении работ вращение устройства и подача промывочной жидкости прекращаются, поршень под действием пружины перемещается вверх, резцы занимают транспортное положение, инструмент извлекается из скважины. Если толкатель заклинит и силы пружины будет недостаточно для перемещения поршня в верхнее положение, при подъеме устройства выступающие резцы войдут в контакт с верхним торцом обсадной трубы и, действуя как рычаг (рис. 4, б), создадут дополнительное усилие на поршень, что обеспечит его перемещение вверх, поворот лопастей с резцами в транспортное положение и свободное извлечение инструмента из скважины. Таким образом, изменение конструкции инструмента повышает его надежность.

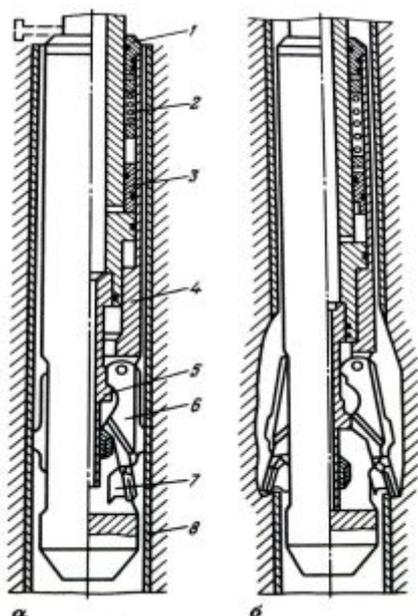


Рис. 3. Схема фрезера Каммерера в транспортном (а) и рабочем (б) положениях [6]:
1 – шпиндель, 2 – пружина, 3 – втулка, 4 – корпус, 5 – клин, 6 – лапа, 7 – резец, 8 – обсадная колонна

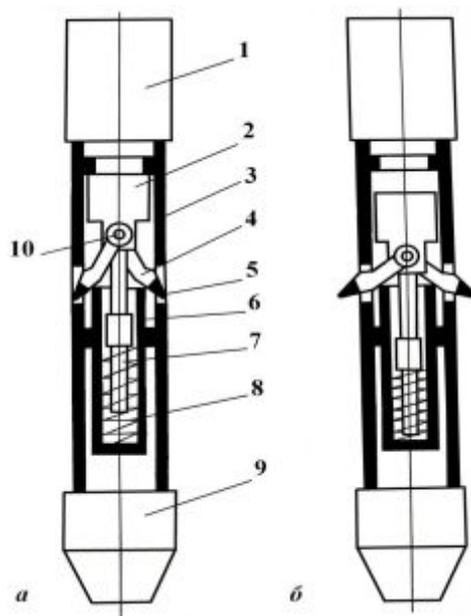


Рис. 4. Схема разработанного фрезерного инструмента в транспортном (а) и рабочем (б) положениях: 1, 9 – центраторы, 2 – поршень, 3 – корпус, 4 – лопасть, 5 – твердосплавная пластина, 6 – внутренняя труба, 7 – толкатель, 8 – пружина, 10 – ось

Рассматривая прострелочные работы при добыче сланцевого газа, соответственно перфорационные системы, обратимся к отечественной продукции. В УкрГТРИ с конца 90-х годов прошлого века изготавливают прострелочно-взрывную аппаратуру (ПВА). Усовершенствуют ПВА совместно со специализированными организациями Украины: НИЦ «Материалообработки взрывом» Институт электросварки им. Е. А. Патона, Шосткинским казенным заводом «Импульс», Государственное геофизическое предприятие «Укргеофизика» и др. Разработаны перфорационные системы большого диаметра, включающие кумулятивные заряды в герметичной стеклянной оболочке поперечного размера 80–105 мм для перфорации объектов значительной толщины (в частности, они обеспечивают раскрытие пластов через две – три обсадные трубы); кумулятивные перфораторы малого диаметра включают заряды в герметичной металлической оболочке поперечных размеров 38 и 42 мм, (применяются, в частности, для раскрытия нефтяных и газовых объектов через насосно-компрессорные трубы во время депрессии на пласт). Выполнены также другие разработки, многие из которых эффективны при добыче сланцевого газа. Внедрение таких разработок станет дополнительным импульсом для развития целого ряда научных и производственных организаций Украины.

Выводы

1. Дефицит добычи природного газа в Украине в последние десятилетия определяет необходимость наращивания объемов использования собственных, традиционных и нетрадиционных, источников углеводородов. Разработку нетрадиционных месторождений природного газа может успешно производить специальными методами. Эффективная технология добычи сланцевого газа заключается в бурении по площади месторождения серии многозабойных скважин с горизонтальными стволами, направленными по продуктивному пласту, через которые после пристрелочных работ производятся гидроразрывы породы и последующая добыча газа.

2. Разработан усовершенствованный фрезерный инструмент для использования при резке горизонтального ствола из обсаженной скважины, который включает центраторы, корпус, поршень с присоединенными на оси лопасти с твердосплавными резцами, толкатель и возвратную пружину. Перемещение резцов из транспортного положения в рабочее обеспечивается давлением промывочной жидкости, фрезерование труб происходит при вращении инструмента и осевой нагрузке на резцы. Конструкция инструмента исключает его заклинивание в скважине, несмотря на сложность выполняемой им операции.

3. Показана целесообразность использования при добыче сланцевого газа прострелочно-взрывной аппаратуры, разработанной в УкрГГРИ совместно с рядом специализированных организаций Украины, что обеспечит эффективное выполнение работ и развитие отечественных предприятий.

Показано, що видобуток сланцевого газу здійснюється зі свердловин з горизонтальними стволами, спеціальними технічними засобами, інструментом і технологічними прийомами. Наведено конструкцію вдосконаленого фрезерного інструменту для використання при зарізуванні горизонтальних стволів та інформація про перфораційні системи УкрДГРІ.

Ключеві слова: сланцевий газ, горизонтальна свердловина, фрезерний інструмент, перфораційні системи.

It is rotined that the booty of slate gas is produced from horizontal mining holes, the special instruments and technologies are thus used. The construction of the intmproved milling instrument for using for the boring drilling of horizontal mining holes and information about the perforation systems of UkrDGRI is presented.

Key words: slate gas, horizontal mining hole, milling instrument, perforation systems.

Литература

1. Ставицький 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.
2. Горная энциклопедия: в 5 т. / Глав. ред. Е. А. Козловский. – М.: Сов. энцикл., 1984–1991. – Т. 2. – 575 с.
3. Макагон Ю. Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Рос. хим. журт. – 2003. – Т. XLVII. – № 3. – С. 70–79.
4. Шнюков Е. Ф. Зиборов А. П. Минеральные богатства Черного моря. – К.: ОМГОР НАН Украины, 2004. – 280 с.
5. Буріння свердловин: у 5 т. / М. А. Мислюк, І. Й. Рибчук, Р. С. Яремійчук – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – Т. 3. Вертикальне та скероване буріння. – 294 с.
6. Бурение наклонных скважин / А. Г. Калинин, Н. А. Григорян, Б. З. Султанов – М.: Недра, 1990. – 348 с.

Поступила 01.06.12