

*Ж. П. ВАРЕХА, Б. П. ХАСЕН, С. Н. ЛИС**

ТОО «Институт проблем комплексного освоения недр»

*Караганда, *snlis@yandex.kz*

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАНА ИЗ НИЗКОГАЗОПРОНИЦАЕМЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Для извлечения метана из карагандинских углей авторами разработана технология торпедирования скважин, которая позволяет увеличить дебит газа из скважины в несколько раз. Угольные пласты Карагандинского бассейна являются низкопроницаемыми и для извлечения метана требуется техногенное воздействие на эти пласты. Наиболее распространённая в Карагандинском бассейне технология воздействия на пласт с целью стимулирования его газоотдачи – гидроразрыв – имеет ряд недостатков и малоэффективна для промышленной добычи метана. В основу предложенного в данной работе метода интенсификации газовыделения положен принцип деструкции системы «уголь – газ (флюид)» на молекулярном и надмолекулярном уровне. Взрывание заряда взрывчатых веществ (ВВ) в скважине, пробуренной по пласту или вблизи пласта, вызывает ударную волну, вслед за которой проходит волна разряжения. Увеличение давления на угольный пласт вызывает в нем напряженно-деформированное состояние, а последующий резкий сброс давления приводит к деструкции системы «уголь – газ» и выделению свободного метана. Сущность технологии заключается в том, что в результате взрывания в скважине зарядов ВВ нарушается термодинамическое равновесие системы «уголь – метан» с выделением свободного метана и образованием в углеспородном массиве флюидопроводящих каналов: раскрытием естественной трещиноватости и образованием новых техногенных трещин, что способствует повышению проницаемости массива в целом. Периодическое взрывание зарядов ВВ способствует генерации и распространению волн напряжений и разряжения и образованию различных систем трещин в угольно-породном массиве. Разработанная технология защищена патентом на изобретение. Применение разработанной технологии для коммерческой добычи метана из низкопроницаемого угольного массива позволит снизить затраты и уменьшить продолжительность подготовки угольного пласта к интенсификации добычи метана.

Ключевые слова: метан, газоотдача, проницаемость угольного пласта, гидроразрыв пласта, торпедирование скважин.

Введение. Основными факторами, влияющими на способность угольных пластов к газоотдаче, являются их газоносность, степень метаморфизма, газопроницаемость и гидродинамические условия. Наиболее важный параметр – газопроницаемость угольного массива. Проницаемость углей и вмещающих пород обусловлена главным образом их эндогенной трещиноватостью и трещинами отрыва экзогенного происхождения.

С увеличением глубины залегания угольных пластов в Карагандинском угольном бассейне происходит рост газоносности и горного давления. Повышение горного давления приводит к

снижению проницаемости угольного массива. Установлено [1], что проницаемость угольного пласта экспоненциально зависит от приложенной к нему нагрузки.

Газопроницаемость пород в массиве во всех четырех продуктивных свитах в Карагандинском бассейне невысокая – десятые и сотые доли мД. Газопроницаемость углей выше: до 10-15 мД на глубинах до 250-300 м, но она резко уменьшается с глубиной и на глубинах 600-700 м составляет сотые и тысячные доли мД.

Успехи в добыче метана из неразгруженных угольных пластов через скважины, пробуренные с земной поверхности, в США, Австралии и дру-

гих странах обусловили интенсивное развитие этого способа в плане сочетания различных технических приемов, химических и физических эффектов при воздействии на эти пласты. Однако основной задачей продолжает оставаться создание развитой системы трещин (особенно для низкопроницаемых угольных пластов), обеспечивающих связь сформированного коллектора с дневной поверхностью.

Экспериментальная часть. В Карагандинском угольном бассейне было пробурено свыше 150 вертикальных скважин с дневной поверхности для вскрытия мощных высокогазообильных пластов К12 и Д6 для проведения дегазации и подготовки этих пластов к очистной выемке. Ведение работ по извлечению метана показало, что только одиночные скважины давали приток газа в 3-4 тыс. м³/сут., несмотря на то, что в скважинах применяли различные средства техногенного воздействия по интенсификации газоотдачи метана на угольный пласт (гидравлические, механические, физико-химические и др.).

Недостатком наиболее распространенной технологии воздействия на угольный пласт – гидроразрыва – является то, что она требует больших объемов и темпов закачки жидкости гидроразрыва. Раскрытие и расширение трещин в напряженном газонасыщенном низкопроницаемом угольном пласте возможно только под давлением, обеспечивающим преодоление сил горного давления. Жидкость как рабочий агент хорошо передает давление и энергию насосных агрегатов непосредственно к раскрываемым трещинам. Однако жидкость не может в полной мере реализовать эту энергию в процессе раскрытия трещин, так как увеличение зияния этих трещин сопровождается резким падением в них давления жидкости, и процесс расчленения носит скачкообразный характер. Другим недостатком закачки жидкости в угольный пласт является необходимость ее последующего удаления из системы трещин для освобождения путей фильтрации метана. Кроме того, гидрорасчленение угольного пласта с помощью рабочей жидкости блокирует значительную часть метана в порах. Так, остаточная газоносность угля, выданного на поверхность, который подвергался гидрорасчленению, в 1,5-2 раза выше по сравнению с углем, который не подвергался гидрорасчленению [2]. Кроме того, недостатком гидрорасчленения является уменьшение газопроницаемости в угольном массиве в результате его увлажнения и смыкания трещин под действием сил горного давления. Даже применение закачки пропана для предотвращения смыкания стенок трещин и для предохранения от забивания трещин угольными частицами не всегда приносило успех. С увеличением глубины залегания угольного пласта наблюдается увеличение скоростей затекания трещин для увлажненных углей в 5 раз больше, чем в неувлажненных [2]. Существенным недостатком технологии гидрорасчленения являются длительные сроки выполнения всех необходимых подготовительных процессов и операций, прежде чем приступить к извлечению метана.

Угольные пласты Карагандинского бассейна характеризуются, как уже отмечалось, низкой газопроницаемостью, существенно затрудняющей решение вопроса эффективности промышленной добычи метана. Для пластов с низкой газопроницаемостью рекомендуется при добыче угольного метана применять скважины с горизонтально-наклонными окончаниями ствола [3].

С увеличением глубины разработки газопроницаемость углей будет снижаться. Низкая проницаемость сильно подвергает риску коммерческую целесообразность промышленной добычи метана. В этих условиях важным фактором является искусственное повышение фильтрационных способностей угля с целью увеличения дебита газа из пробуренной по пласту скважины. Искусственная газопроницаемость угольного пласта образуется в результате техногенного воздействия на угольный пласт или горный массив за счет нарушения его сплошности, изменения напряженно-деформированного состояния. Эффективное раскрытие естественной трещиноватости и образование новых трещин произойдет, если применить предложенную нами технологию взрывания зарядов согласно патенту [4], при которой гибкую трубу с смонтированными в ней рассредоточенными зарядами взрывчатых веществ с обособленными детонаторами, управляемыми с поверхности, размещают в скважине, пробуренной по продуктивному угольному пласту или в почве пласта. Регулированием очередности взрывания зарядов обеспечивается раскрытие системы естественной трещиноватости пласта и образование новых трещин, что способствует повышению проницаемости массива в целом. В результате повы-

шается интенсивность поступления метана в добычную скважину.

Работы по испытанию торпедирования для принудительного увеличения дебита газа из скважин, пробуренных по продуктивному пласту, проводились в Карагандинском [5] и в Донецком [6, 7] бассейнах еще в прошлом веке. В результате этих исследований было установлено, что после взрывания зарядов ВВ дебит газа из скважин увеличивается в несколько раз и продолжается в течение 3-5 месяцев. Дальнейшее применение этого метода было прекращено в силу ряда причин. Во-первых, при отказе взрыва торпеды (ВВ) работы по добыче в районе размещения торпеды запрещались, что увеличивало объем нарезных работ; во-вторых, по прошествии 3-5 месяцев трещины смыкались и дебит газа резко снижался.

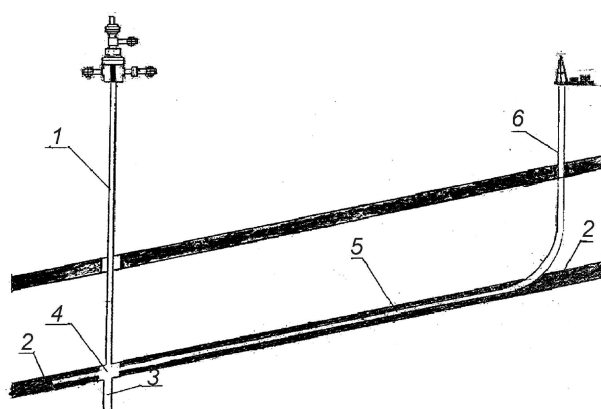
Обсуждение результатов. Взрыв (ВВ) в скважине производит сотрясение окружающей среды и способствует раскрытию естественной трещиноватости в низкопроницаемом коллекторе, вызывая увеличение трещинно-порового пространства. Это в определенной степени способствует выходу из угольного вещества связанного метана. Образующийся в традиционном пространстве свободный метан является новым стимулирующим фактором трещинообразования. Величина природного давления метана в угольных пластах достигает нескольких десятков МПа. Это внутрипоровое давление метана провоцирует образование трещин. В мельчайших порах угольного вещества метан адсорбирован, но этот газ связан и из пор не выходит. Сильное сотрясение, причиненное взрывом, его освобождает. При торпедировании причиной увеличения дебита в скважине является не только образование трещин в угольном пласте. При взрыве сотрясение переводит газ из адсорбированного в газообразное состояние, из неактивного в активный. Этому может служить подтверждением тот факт, что в Карагандинском бассейне в 2013 г. на Талдыкудукском участке была пробурена технологическая скважина T_1 для извлечения метана из пласта k_{12} . Глубина скважины до пласта составляла 500 м и далее по пласту пробурили по падению внутрипластовую скважину на 300 м. Скважина по окончании бурения по разным причинам не показала никакого дебита газа, но после того, как 21 июня 2014 г. произошло землетрясение, эпицентр которого находился за несколько сотен километров от Кара-

ганды, газ из скважины пошел. Тут сыграл роль сотрясательный эффект.

Неразгруженный от горного давления угольный массив представляет собой пористую систему, менее плотную, чем у других пород. Механическая плотность угля намного ниже, чем у вмещающих пород, он не способен выдерживать высокий градиент давления, не разрушаясь. Угольные пласты находятся в напряженном состоянии и, имея низкую проницаемость, обладают повышенной звукопроводностью, служат хорошим динамическим резонатором, и при взрывании зарядов ВВ являются передаточной средой для акустических, сейсмических волн. При этом звукопроводность массива зависит от его плотности и упругости, возрастая с увеличением плотности проводящей среды. Периодическое взрывание зарядов ВВ будет способствовать генерации и распространению волн разряжения и образованию различных систем трещин в угольно-породном массиве.

Для промышленной добычи метана из низкогазопроницаемых угольных пластов Карагандинского бассейна с учетом патентов [4, 8] разработана следующая технологическая схема вскрытия и подготовки угольного пласта для извлечения метана (рисунок).

Сущность этой технологической схемы заключается в том, что с земной поверхности бурятся две пересекающиеся скважины: одна наклонно-направленная по продуктивному пласту, а другая вертикальная.



1 — вертикальная скважина, 2 — нижний угольный пласт, 3 — водосборник, 4 — область расширения вертикальной скважины, 5 — пластовая скважина, 6 — наклонно-направленная скважина

Рисунок — Технологическая схема по вскрытию и подготовке низкопроницаемого угольного пласта для извлечения метана

Сначала строится основная вертикальная скважина 1, которая бурится вглубь не менее 50 м от самого нижнего угольного пласта 2 и оборудуется водосборник 3, где устанавливается погружной насос для откачки воды на поверхность. Ствол вертикальной скважины обсаживается до кровли нижнего пласта 2. В интервале залегания газоносного пласта ствол скважины расширяется до 600 мм на всю мощность пласта. В настоящее время этот метод успешно используется на месторождении Jurat Surat Basin в Квинсленде (Австралия). Сформированная полость 4 позволяет увеличить площадь дренажа метана из угольного пласта и вероятность успешного пересечения с пластовой скважиной 5 для обеспечения связи последней с вертикальной скважиной 1. В образованной полости размещают электромагнитный источник, который используют в качестве «навигационного маяка» при проводке ствола наклонно-направленной скважины 6. Как следствие, повышается вероятность пересечения стволов вертикальной и наклонно-направленной скважин в интервале расширения.

Наклонно-направленная скважина забуривается на расчетном расстоянии 700-2000 м от точки заложения вертикальной скважины. Сначала ствол скважины 6 бурится вертикально, затем, искривляясь по выбранному азимуту и радиусу, вскрывает продуктивный угольный пласт 2. Дальнейшая траектория ствола (скважины) 5 проходит по продуктивному пласту до пересечения с уже пробуренным и дополнительно расширенным стволом основной вертикальной скважины 1. Ствол наклонно-исправленной скважины обсаживается и цементируется до кровли продуктивного угольного пласта. Интервал ствола скважины, проходящей по продуктивному угольному пласту, обсаживают перфорированной колонной. Вертикальная скважина 1 может одновременно пересекаться как с одной, так и с несколькими наклонно-направленными скважинами. Откачка пластовой воды из ствола скважины позволяет снизить гидростатическое давление в газоносном угольном пласте до величины, при которой происходит десорбция находящегося в угле метана.

Пластовая скважина обеспечивает одновременно дренаж газа и воды и транспортировку метана до вертикальной скважины 1.

Для размещения гибкой трубы с вмонтированными в ней рассредоточенными зарядами

взрывчатых веществ в скважине, пробуренной по продуктивному пласту, поступают следующим образом. При бурении скважины по угольному пласту с выходом бурового снаряда в заранее сооруженную полость 4 к буровой коронке присоединяют трос, опущенный по вертикальной скважине 1, и при извлечении бурового става из скважины трос оказывается на поверхности. Трос приклеивают к гибкой трубе и опускают в скважину 6. Далее производится наращивание и протягивание тросом трубы, которую с зарядами ВВ размещают в скважине, пробуренной по продуктивному пласту. При очередном взрывании зарядов ВВ с рассчитанным интервалом времени обеспечивают необходимый дебит метана.

Применение разработанной технологии для коммерческой добычи метана из низкопроницаемого угольного массива позволит снизить затраты и уменьшить продолжительность подготовки угольного пласта к интенсификации добычи метана по сравнению с методом гидрорасчленения пласта и увеличит дебит метана.

Выводы. Показано, что наиболее распространенному способу воздействия на угольный пласт для стимуляции газоотдачи – гидрорасчленению – присущи недостатки, главными из которых являются большие объемы и темпы закачки жидкости гидроразрыва и длительные сроки выполнения всех необходимых подготовительных процессов, прежде чем приступить к извлечению метана. Так как газообильность пластов с возрастанием глубины растет, а главный показатель эффективности извлечения метана – газопроницаемость – снижается, то без применения стимулирующих способов газоотдачи промысловая добыча метана становится нерентабельной.

Для извлечения метана из карагандинских низкопроницаемых углей разработана технология, при которой в результате нарушения термодинамического равновесия энергетически насыщенная система «уголь – метан» разрушается с выделением метана. Метод основан на том, что угольный массив, имеющий низкую проницаемость, обладает повышенной звукопроводимостью, является хорошим динамическим резонатором, который при взрывании зарядов ВВ является передаточной средой для акустических, сейсмических волн, инициирующих деструкцию системы «уголь – метан» с выделением свободного метана.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С. Извлечение метана из угольных пластов. – М.: МГУ, 2002. – 384 с.

2 Пучков Л.А., Сластунов С.В., Презент Г.М., Баймухаметов С.К. Угольный метан – некоторые проблемы и направления их решения // Уголь. – 2003. – № 12. – С. 43-48.

3 Демченко А.Г. Дегазация угольных пластов и проведение доразведки угольных пластов методом направленного бурения // Уголь. – 2008. – № 3. – С. 60-65.

4 Пат. 26648 РК. Способ извлечения метана из угольного пласта / Вареха Ж.П., Хасен Б.П.; опубл. 25.12.2002, Бюл. № 12. – 4 с.

5 Кривошеев В.О. Опыт торпедирования газодренажных скважин с целью увеличения их дебита // Дегазация угольных пластов: Труды Всесоюз. науч.-техн. совещ. – М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 149-154.

6 Алидзаев Е.Д., Деев Ю.В. К вопросу дегазации неразгруженных угольных пластов скважинами в условиях шахт Донбасса // Вопросы безопасности в угольных шахтах: Труды МакНИИ. – М.: Недра. – 1984. – Т. 18. – С. 110-115.

7 Морев А.М. Работы МакНИИ в области дегазации за 1960-1964 гг. // Дегазация угольных пластов на шахтах СССР: матер. Всесоюз. совещ. – М.: Недра, 1966. – С. 17-22.

8 Пат. 6280000 США. Методы добычи газа из угольных пластов при использовании пересекающихся скважин / Зупаник Д.А., опубл. 28.08.2001. – 3 с.

REFERENCES

1 Puchkov L.A., Slastunov S.V., Kolikov K.S. *Izвлечение метана из угольных пластов* (Extraction of methane from coal-beds). Moscow: Moscow state university, **2002**. 384 (in Russ.).

2 Puchkov L.A., Slastunov S.V., Present G.M., Bajmukhametov S.K. *Ugol'nyj metan – nekotorye*

problemy i napravleniya ikh resheniya (Coal methane – some problems and directions of their decision). Ugol'=Coal, **2003**. 12. 43-48 (in Russ.).

3 Demchenko A.G. *Degazatsiya ugol'nykh plastov i provedenie dorazvedki ugol'nykh plastov metodom napravlennoho bureniya* (Degassing of coal-beds and detail exploration of coal-beds by directed drilling method). Ugol'=Coal, **2008**. 3. 60-65 (in Russ.).

4 Pat. 26648 RK. *Sposob izvlecheniya metana iz ugol'nogo plasta* (Method of methane extraction from coal-bed) Varekha Zh.P., Khassen B.P.; opubl. **25.12.2002**, 12. 4 (in Russ.).

5 Krivosheev V.O. *Opyt torpedirovaniya gazodrenazhnykh skvazhin s tsel'yu uvelicheniya ikh debita* (Experience torpedoing gas-drainage wells to increase their yield) Degazatsiya ugol'nykh plastov: Trudy Vsesoyuznogo nauchno-tekhnich. soveshch. (Degassing of coal-beds. Materials of all-union science-technical conference). Moscow: Gosgortekhzdat. **1961**. 149-154 (in Russ.).

6 Alidzaev E.D., Deev Yu.V. *K voprosu degazatsii nerazgruzhennykh ugol'nykh plastov skvazhinami v usloviyakh shakht Donbassa* (On question of degassing of undischarged coal-beds by drillholes in condition of Donets Basin shafts). *Voprosy bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh* (Safety questions in coal mine). Trudy MakNII. Moscow: Nedra. **1984**. 18. 110-115 (in Russ.).

7 Morev A.M. *Raboty MakNII v oblasti degazatsii za 1960-1964 gg.* (Materials of Mak scientific-research institute from 1960 till 1964.) *Degazatsiya ugol'nykh plastov na shakhtakh SSSR* ((Degassing of coal-beds on shafts of the USSR). Mater. Vsesoyuznogo soveshch. po degazatsii ugol'nykh plastov na shakhtakh SSSR. (Materials of national conference on degassing of coal-beds on shafts of the USSR) Moscow: Nedra, **1966**. 17-22 (in Russ.).

8 Pat. 6280000 USA. *Metody dobychi gaza iz ugol'nykh plastov pri ispol'zovanii peresekayushchikhsya skvazhin.* (Methods of gas production from coal-beds by using crossed holes). Zupanick J.A.; opubl. **28.08.2001** (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Қарағанды бассейнінің көмір жіктер метан өндіру үшін төмен өткізгіштігінің осы құрамалардың технологиялық әсер талап болып табылады. оның газ қалпына келтіру көтермелеу Қарағанды бассейнінің технологиясы ынталандыру ең көп таралған – гидравликалық жару кемшіліктерді бірқатар бар және метан коммерциялық өндіру үшін жеткілікті тиімді емес. Қарағанды көмір авторлардың метан алып тастау үшін ұңғымаларды бірнеше рет газ ағынының жылдамдығы арттыруға болады ұңғымалары технологиясы torpedoing өзірленді. метан шығару және арна сұйықтық-тау массасын қалыптастыру – осы технология мәні ұңғымалық жарылғыш алымдар жарылыс нәтижесінде «метан көмір» термодинамикалық тепе-теңдік бұзылған табылатындығында. Дамыған технология ол өнертабысқа патентін алды. Төмен өткізгіштігінің көмір жиым метан коммерциялық өндіру үшін технологияны пайдалану құнын төмендетуге және метанның өндірісін қолға үшін көмір қабатының дайындау ұзақтығын қысқартуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: метан; газ қалпына келтіру; көмір қабатының өткізгіштігінің; гидравликалық жару; ұңғымаларды күйдіру.

SUMMARY

For methane extraction from the Karaganda coals authors develop technology of wells torpedoing which allows to multiply many times gas output from the well. Coal strata of the Karaganda basin are low-gas-

permeable and for extraction of methane the technogenic influence on these strata is required. The most widespread in the Karaganda basin technology of influence on a stratum with the purpose of its gas recovery stimulation – hydraulic fracturing has a number of deficiencies and is not effective for industrial extraction of methane. The principle of «coal-gas (fluid)» system destruction on molecular and permolecular level is put in a basis of the method of an intensification of gas emission, which is offered in given work. Detonation of explosives charge in a well drilled through a stratum or near to a stratum causes a shock wave after which there evacuation wave follows. The increase of pressure at a coal stratum causes the intense-deformed state in it, and the subsequent sharp dump of pressure leads to «coal-gas» system destruction and to emission of free methane. The main point of this technology consists in thermodynamic disbalance of system «coal – methane» with emission of free methane and formation of fluid-conducting channels in coal rock, as a result of detonation of explosives charge in a well. Periodic detonation of explosives charges will promote generation and spreading of waves of tension and evacuation and formation of various systems of cracks in a coal-rock massif. The developed technology is protected by the invention patent. Application of the developed technology for commercial extraction of methane from low-permeable coal massif will allow to lower expenses and to reduce duration of coal stratum preparation to intensification of methane recovery.

Key words: methane, gas recovery, coal stratum permeability, stratum hydraulic fracturing, wells torpedoing.

Поступила 11.06.2015

