

Д-р техн. наук Е.Л. Звягильский, канд. техн. наук И.А. Ефремов,  
инж. В.В. Бобрышев (АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»),  
д-р техн. наук К.К. Софийский (ИГТМ НАН Украины)

## К ВОПРОСУ О КОЛЬМАТАЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Викладено механізм та причини кольмататії шарнирнато-поруваного середовища навколо дегазацийних свердловин, що пробурені з поверхні. Визначено умови виникання цього явища та його вплив на динаміку газовиділення із свердловин.

## TO A QUESTION ABOUT COLMATAGE OF SUPERFICIAL-DEGASSING CHINKS DURING THEIR OPERATION

The mechanism both reasons colmatage crack-porous environment around surface degassing chinks is stated. The conditions of occurrence of this phenomenon and his influence on changes of allocation of gas from chinks are certain.

На 32 шахтах Донбасса с 1965 года проводятся экспериментальные и опытно-промышленные работы по созданию технологий техногенной и предварительной дегазации угольных месторождений через скважины, пробуренные с поверхности (ПДС).

Достаточно интенсивно, по сравнению с другими ведутся работы по дегазации угольного массива через ПДС на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько».

Подсчёты запасов газа в пределах радиуса влияния (130 – 180 м) поверхностной дегазационной скважины для условий пластов  $m_3$  и  $l_1$  шахты им. А.Ф. Засядько дают цифры до 10 - 15 млн. м<sup>3</sup>. Но в процессе их эксплуатации средняя газоотдача одной хорошо работающей ПДС составляет 1 – 2 млн. м<sup>3</sup>, хотя имеются и единичные скважины, давшие по 3 – 5 млн. м<sup>3</sup> метана. Как неудачные, оцениваются скважины, давшие менее 700 тыс. м<sup>3</sup>. В то же время имеется достаточно ПДС, дающих значительно меньшее и даже нулевое количество газа.

Причины этого могут быть разные [1, 2, 3]. Из их числа следует выделить наиболее важные, а именно:

- собственно коллекторские свойства массива;
- большие колебания газонасыщенности дегазуруемой толщи, обусловленные различиями локальных структурных элементов шахтного поля;
- неблагоприятное расположение точек заложения ПДС относительно элементов мульды сдвижения;
- несовершенство конструкции и технологии эксплуатации ПДС;
- степень анизотропности слоёв подработанной угленосной толщи, определяющей интенсивность процессов её расслоения и разрушения;
- процессы, обусловленные гипернатяжениями, которые очень важны для больших глубин эксплуатации (более 1000 м), так как они провоцируют газодинамический тип разрушения концентраторов напряжений, т.е. мощных прочных слоёв песчаников, удерживающих некоторое время подработанную

толщ пород от оседаний, и находящихся в зоне их непосредственного влияния выбороопасных угольных пластов и пропластков.

Именно эти обстоятельства определяют большие колебания коэффициента извлекаемых запасов газа - от нуля до почти 50%, при преобладающих значениях от 5 до 20%. Если принять 40% за вполне реальное его значение, то в окрестности «заглохшей» ПДС остаётся от 2 – 4 млн. м<sup>3</sup> запасов газа, пригодных для извлечения.

Исходя из этих представлений, шахтой совместно с ИГТМ НАН Украины было принято решение произвести работы по восстановлению таких ПДС с целью вовлечения их во второй этап эксплуатации. Уже произведены такие работы на двух ПДС (№Щ-1345 и №Щ-1347) и заканчиваются на третьей (№МТ-283). Основным видом ремонтно-восстановительных работ является очистка их стволов от углеродного штыба и продувка компрессором с целью понижения в них уровня воды. Однако, положительных результатов эти работы не дали, приток газа не получен, а на ПДС №Щ-1345 и №Щ-1347, дававших до ремонта слабое газовыделение, оно уменьшилось или даже полностью прекратилось.

Эти обстоятельства определили необходимость поиска других критериев оценки свойств подработанного углеродного массива в окрестности «заглохшей» ПДС и новых способов воздействия на него с целью инициирования повторного газопритока к отремонтированным ПДС и вовлечения их во второй этап эксплуатации.

Анализ ремонтно-восстановительных работ показал, что их отрицательные результаты обусловлены:

а) отсутствием достаточно обоснованной концепции трансформации свойств подработанной угленосной толщи в окрестности вышедшей из строя ПДС;

б) незнанием причин и механизма внезапного выхода из строя ПДС, случавшегося, практически, на любой стадии её работы: от самой начальной (первые один-два месяца работы) до заключительной (после 3 – 4 лет высокопроизводительной работы);

в) отсутствием детальной программы и методики реанимационно-восстановительных работ в зависимости от конкретной причины и механизма выхода из строя «заглохшей» ПДС.

Вполне очевидно, что наибольшее значение для правильного выбора методов ремонта и запуска в повторную работу ПДС играют первые два фактора. Ошибочные представления о свойствах выработанного пространства в окрестности ПДС заключаются в том, что большинство специалистов по методам поверхностной дегазации угленосной толщи не видит их качественных изменений, происходящих в процессе эксплуатации ПДС. Существует мнение: чем ближе к выработанному пространству - тем выше суммарная проницаемость (естественная и техногенная) подработанного массива. В частности, на этом положении основано правило о сорока выемочных мощностях [4],

определяющих безопасное расстояние при проходе очистного забоя под затопленными подземными или поверхностными бассейнами.

Но для окрестности «заглохшей» ПДС это положение несправедливо. Более того, проницаемость подработанной толщи подчиняется здесь противоположному закону - чем ближе к выработанному пространству, тем ниже её общая проницаемость.

Причиной этого является непрерывно идущий процесс колюматации подработанной толщи пород в окрестности ПДС. Нижние газоносные горизонты включаются в работу первыми, интенсивно отдают в ствол ПДС свой газ и одновременно постепенно закупоривают свои первоначально открытые миграционные каналы.

По мере распространения влияния подработки вверх по разрезу, т.е. неравномерного процесса формирования разуплотнённой толщи вплоть до поверхности, происходит последовательное включение в процесс газоотдачи всё новых и новых газоносных горизонтов с соответствующим перемещением максимума удельной газоотдачи толщи.

В то же время удельная проницаемость, а, следовательно, и газоотдача нижних горизонтов неуклонно снижается и процесс этот идёт нарастающими темпами.

Чем интенсивнее начинают работать вновь включившиеся верхние газоносные горизонты, тем сильнее подавляется активность газоотдачи нижних. Это, в конечном итоге, приводит к полному их выключению из работы и, как правило, задолго до истощения газового потенциала.

Неудачные попытки выполнения дегазационных работ нисходящими подземными скважинами (НПС) или поверхностными дегазационными скважинами обусловлены, в основном, процессами колюматации, природа и механизм которых весьма разнообразны.

Одной из причин снижения газовыделения из скважин является противодавление столба жидкости, заполняющей НПС или ПДС, и запирающего газ в порах и трещинах газоносных или водо-газоносных горизонтов. В случае наличия в разрезе водоносного или водо-газоносного горизонта этот фактор становится препятствием процессу дегазации вмещающих пород и угольных пластов. Так, например, для газоносных песчаников в условиях шахты им. А.Ф. Засядько характерно 60-75-процентное заполнение фильтрующего объема водой, смешанной с газом, вследствие чего после разгрузки они отдают газ только совместно с водой. Если дренирующие возможности дегазируемой толщи меньше среднего притока воды в ствол ПДС, последний начинает подтапливаться. Процесс газоотдачи вначале снижается, а затем и полностью прекращается.

Другой причиной снижения газоотдачи может быть колюматация пор и трещин в окрестности НПС или ПДС углисто-глинистыми частицами, источниками которых являются угли, углисто-глинистые сланцы, «кучерявчики», а также аргиллиты и алёвролиты, разрушаемые в процессе их бурения и эксплуатации. Этот процесс идёт также за счёт фильтрации глинистого

раствора в зонах поглощения, если он применяется в процессе бурения или при цементации супертрещиноватых и неустойчивых продуктивных интервалов.

Эксплуатационная кольматация трещин и пор, т.е. их закупорка в процессе всего периода эксплуатации скважины за счёт выноса в её ствол частичек скелетного материала коллектора, идёт обычно достаточно интенсивно и является одной из главных причин преждевременного выхода ПДС из строя.

Это подтвердилось при выполнении ремонтно-восстановительных работ на ПДС №Щ-1345, №Щ-1347 и №МТ-283. Интервалы по 50 – 100 м и более, расположенные в нижней части этих скважин оказались заполненными плотными пробками штыба. Результатом такой кольматации является прекращение газоотдачи с последующим заполнением ПДС водой. По механизму возникновения и характеру протекания эксплуатационную кольматацию можно подразделить на четыре вида:

- эволюционно-барическая;
- структурно-динамическая;
- гравитационно-уплотнительная;
- запорно-гидравлическая.

Эволюционно-барическая кольматация происходит за счёт разности между пластовым давлением газа и его давлением в призабойной части ПДС. В период включения газоносного горизонта в работу, т.е. при нулевом давлении на устье, эта разность имеет максимальные значения в призабойной части ПДС, что вызывает перемещение газа по трещинам и открытым порам к скважине.

При достижении определённых соотношений между мощностью газового потока и механической прочностью ослабленных подработкой пород коллектора [1, 2] происходит частичное его разрушение и вынос разрушенного материала в ствол ПДС.

В период установившейся величины газового потока образование и вынос этого типа кольматационного материала в ПДС идёт практически равномерно, без накопления его в трещинах дегазируемого слоя. Этот материал поступает в нижнюю часть ПДС и далее в трещины, соединяющие её с выработанным пространством подрабатывающей лавы. Этот процесс приводит к полной изоляции ПДС от выработанного пространства.

В заключительной фазе работы газоносного горизонта, когда пластовое давление снижается до величины, при которой невозможно преодоление сопротивления движению газо-шламового потока, в трещинах начинается процесс отложения углеродного штыба, который прекращается при дальнейшем снижении скорости газового потока.

Структурно-динамическая кольматация ПДС происходит параллельно с основной фазой эволюционно-барической кольматации. Его отличительной особенностью является то, что кольматационный материал образуется в процессе разрушения на структурном уровне отдельных гипернатяженных слоёв выбросоопасных песчаников, угольных пластов и углистых пропластков, обладающих необходимым сочетанием физико-механических свойств в комплексе с горнотехническими условиями и структурно-тектоническим их

положением в разрезе подработанной толщи. Такой процесс может происходить только при наличии условий для достаточно длительной и значительной концентрации в прочных слоях напряжений горного давления и последующего их скачкообразного перераспределения [5, 6].

Такое сложное сочетание различных геологических и горнотехнических условий, скорее всего, может иметь место в подработанной толще пород с очень контрастно выраженной анизотропией, обусловленной частым чередованием мощных, крепких слоёв песчаников с пластичными и слабыми аргиллитами или даже с хрупкими и слабыми угольными слоями и пропластками. Последние должны находиться в зоне их прямого влияния или непосредственного контакта.

Угольные пласты и пропластки, залегающие непосредственно над песчаниками или в зоне перераспределения их напряжений, могут сами разрушаться как при газодинамических явлениях с образованием угольной «пудры», характерной для обычных выбросов угля и газа. В тех случаях, когда такому разрушению подвергаются тонкие слои углисто-глинистых сланцев, в составе углепородного штыба появляется тонкодисперсная глинистая составляющая.

Описанный выше механизм образования мелкодисперсного кольматационного материала в окрестности подработанной ПДС подтверждается характером наблюдающихся на глубоких горизонтах шахты явлений структурно-динамических разрушений гипернатяженных слоёв песчаников в зонах влияния как подготовительных, так и очистных выработок.

Такой тип образования кольматационного материала может давать особенно большое его количество и, как следствие, приводить к очень быстрому выходу из строя ПДС.

Параллельно с этими процессами происходит гравитационно-уплотнительная кольматация, интенсивность и скорость которой определяются физико-механическими характеристиками слоёв пород угленосной толщи и положением ПДС относительно главных осей мульды сдвижения подработавшей её лавы. Она ускоряет другие, описанные выше, процессы заиливания полостей, трещин и пор. Особенно велика её отрицательная роль для горизонтов подработанной толщи, имеющих отрицательные значения техногенной кривизны, где наиболее интенсивно и быстро развиваются зоны восстановленного горного давления.

Главным результатом этого кольматационного процесса является такое сильное уплотнение углисто-глинистого штыба, занесенного в трещины окрестностей ПДС, что они становятся водонепроницаемыми. Завершением первого этапа гравитационно-уплотнительной кольматации можно считать начало подъёма уровня воды в ПДС.

Отрицательное влияние этого вида кольматации как правило полностью выводит ПДС из эксплуатации и осложняет её ввод после ремонтно-восстановительных работ.

Заключительным этапом процесса уменьшения фильтрационного объёма вокруг ПДС является запорно-гидравлическая кольматация. Подъём уровня

воды в скважине можно рассматривать как гидродинамический процесс. Увеличивающаяся на забой и стенки ПДС гидростатическая нагрузка приводит к тому, что участки трещин, каверн и крупных пор начинают фильтровать поток напорной воды, загрязнённой углеродным штыбом, который, оседая, заливает пустотность подработанного массива и уплотняется за счёт гидростатического давления. Процесс запорно-гидравлической кольматации направлен вверх по разрезу.

Описанная выше последовательность перемещения вверх по стволу ПДС фаз запорно-гидравлической кольматации от грубозернистого материала к мелкозернистому и пылеватому, а также последовательность гравитационно-уплотнительного процесса закольматированной толщи от выработанного пространства вверх, позволяют сделать вывод о том, что гидроупорные свойства подработанного массива в окрестности «заглохшей» скважины наиболее сильно выражены в самой нижней её части, непосредственно примыкающей к выработанному пространству.

Таким образом, в призабойной и примыкающей к ней нижней части ПДС со временем формируется максимальная плотность кольматажного материала, за счёт чего она приобретает герметичность. В зависимости от геологических особенностей разреза и горнотехнических условий подработки ПДС, из которых важнейшими являются выемочная мощность и её положение относительно главных осей мульды сдвижения, статический уровень воды в них устанавливается в диапазоне от 40 до 600 м, считая от поверхности Земли. При средней глубине отремонтированных ПДС 1100 м гидравлическое давление, оказываемое на их забои столбами воды, измерялось величинами от 5 до 8 МПа.

#### СПИСОК ЛИТУРАТУРЫ

1. Бобрышев В.В. Некоторые особенности морфологии и попутного освоения газоносных структур шахтных полей. // Сборник материалов заседаний научно-технического совета Донбасского научного центра Академии горных наук Украины, отделение угля, горючих сланцев и торфа, г. Донецк, июнь 1995. С 71 - 82.
2. Звягильский Е.Л., Ефремов И.А., Бобрышев В.В. и др. Горно-геологическая оценка ожидаемой эффективности работы поверхностных дегазационных скважин. // Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ НАН Украины, г. Днепрпетровск. 2002 г. Вып. №36, с. 68 - 76.
3. Звягильский Е.Л., Бобрышев В.В., Бобрышев Вас.В. Эффект природного антигазового гидробарьера и его роль в формировании газового баланса лавы и особенности работы поверхностных дегазационных скважин. // Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ НАН Украины, г. Днепрпетровск. 2002 г. Вып. №37, с. 162 - 177.
4. Правила по безопасному ведению горных работ на шахтах угольной промышленности Украины.
5. Бобрышев В.В. Оценка выбросоопасности пласта в забое горной выработки на примере шахты «Коммунист». – Тр. Всесоюз. заоч. политехи. Ин-та геологии угля, 1973. Вып. № 85. С. 117 - 123.
6. Николин В.И., Лысиков Б.А., Ткач В.Я. Прогноз выбросоопасности угольных и породных пластов. Донецк, «Донбасс», 1972. С. 31 - 102.