

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЕ ПНЕВМОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАСКОЛЬМАТАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН

У роботі розглянуті умови виникнення кольматациї при експлуатації поверхневих дегазаційних свердловин та використання пневмогідродинамічної (пневмодинамічної) дії для розкольматациї присвердловинної зони. Представлені результати виконаної дії в шахтних умовах.

CONDITIONS OF APPLICATION OF PNEUMOHYDRODYNAMIC INFLUENCE FOR DEFLAGGING OF SURFACE METHANE DRAINAGE BOREHOLES

Conditions of originating of clogging process at exploitation of surface methane drainage boreholes and application of pneumohydrodynamic (pneumodynamic) influence for deflagging of downhole zone are reviewed in the article. The results of influence are introduced in mine conditions.

Одними из средств добычи метана угольных месторождений являются поверхностные дегазационные скважины (ПДС), пробуренные на подрабатываемый массив. При этом процессы кольматации каналов (пор, трещин), по которым осуществляется миграция газа вскрытых газоносных горизонтов к стволу ПДС, оказывают существенное влияние на газовыделение из скважины.

Под понятием «кольматация» следует подразумевать совокупность процессов, протекающие в горном массиве в окрестности ПДС, и возникают в подработанной толще. Это в итоге приводит к закупорке техногенных и естественных трещин и пор скважин, а следовательно, к прекращению функционирования ПДС и ее изоляции от недегазируемой части массива.

Рассмотрим процессы кольматации при наличии начального газовыделения из работающей скважины. По механизму возникновения и характеру протекания эксплуатационный кольматаж можно подразделить на четыре вида: эволюционно-барический, структурно-динамический, гравитационно-уплотнительный и запорно-гидравлический.

При эволюционно-барическом кольматаже сам процесс кольматации происходит за счёт разности между пластовым давлением газа и его давлением в призабойной части ПДС. В начальный период работы газоносного горизонта в неуправляемом режиме, т.е. при нулевом давлении на устье, эта разность имеет максимальное значение в призабойной части ПДС, что вызывает перемещение газа по газосборным трещинам и открытым порам к скважине. При достижении определённых соотношений между мощностью газового потока и механической прочностью ослабленных подработкой пород коллектора происходит частичное его разрушение и вынос структурных осколков коллектора в ствол ПДС. В период работы скважины (при установившейся или

очень мало изменяющейся величине газового потока) образование и вынос этого типа кольматационного материала в ПДС идёт равномерно и без накопления его в газосборных трещинах дегазируемого слоя. Практически весь этот материал поступает в нижнюю часть ПДС и далее в трещины, соединяющие её с выработанным пространством подрабатываемой лавы. Этот процесс может приводить к полной изоляции ПДС, так как фильтрационный объем скважины не соединен с фильтрационным объемом выработанного пространства. В результате имеем процесс отложения углепородного штыба, что приводит к полной изоляции ПДС.

Структурно-динамический кольматационный процесс происходит параллельно с основным периодом эволюционно-барического кольматационного краткосрочными этапами с негативными последствиями. Кольматационный материал образуется в процессе скоротечного (по газодинамическому типу) разрушения на структурном уровне отдельных напряженных слоёв (или их частей) 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. В общем случае такие сочетания являются необходимым и достаточным условием для развязывания газодинамических явлений, наблюдаемых на контуре горной выработки в неразгруженном массиве. Такой процесс может происходить только при наличии в прочных слоях достаточно длительной и значительной концентрации напряжений горного давления и условий для последующего их скачкообразного перераспределения.

Такое сочетание различных геологических и горнотехнических условий может иметь место в подработанной толще пород с очень контрастно выраженной анизотропией физико-механических свойств, обусловленной частым чередованием мощных крепких слоёв песчаников («мостов») с пластичными и слабыми аргиллитами или с хрупкими и слабыми угольными слоями и пропластками. Последние должны находиться в зоне их прямого влияния или даже непосредственного контакта. В таких условиях оседание пластичных и слабых слоёв происходит плавно, без задержек, а на «мостах» мощных и крепких песчаников концентрируются большие напряжения, значительно превосходящие в определённых ситуациях нормальные для этих глубин значения. Такие напряжения могут превышать пределы прочности даже крепких песчаников. Скоротечное образование в таком «мосте» субпослойной полости, смежной с выбросоопасной пачкой, сопоставимо с эффектом внезапного обнажения напряженной поверхности массива и с высоким уровнем высвобождающейся энергии, вызываемого сотрясательным взрыванием.

Описанный механизм образования мелкодисперсного кольматационного материала в окрестности подработанной ПДС подтверждается характером наблюдающихся на глубоких горизонтах шахты явлениями структурно-динамических разрушений напряженных слоёв песчаников в зонах влияния подготовительных и очистных выработок. Такой тип образования кольматационного материала может давать большое его количество и приводить к бы-

струму выходу из строя ПДС.

Параллельно с этими процессами, сразу после подработки ПДС начинается гравитационно-уплотнительный кольматаж, т.е. процессы закрытия и уплотнения техногенной и естественной трещиноватости. Их интенсивность и скорость зависят от физико-механических характеристик слоёв пород угленосной толщи и положения ПДС относительно главных осей мульды сдвижения, подработавшей её лавы. Этот вид кольматажа ускоряет и описанные выше другие виды закупоривания полостей, трещин и пор. Особенно существенным он является для горизонтов подработанной толщи, имеющих отрицательные значения техногенной кривизны, где наиболее интенсивно и быстро развиваются зоны восстановленного горного давления. Его влияние заключается в формировании вокруг ПДС, как у любой горной выработки, зоны повышенного горного давления. Размеры её в плане незначительны, но вполне достаточны для того, чтобы совместно с другими кольматажными процессами практически полностью закупорить ПДС и осложнить её ввод в эксплуатацию после ремонтно-восстановительных работ. Главным результатом этого процесса является уплотнение углисто-глинистого штыба, занесённого в трещины окрестности ПДС, до степени их гидравлической непроницаемости вначале в нижней, призабойной части ПДС, а потом и на более высоких горизонтах. Завершением гравитационно-уплотнительного кольматажа можно считать начало подъёма уровня воды в ПДС.

После завершения гравитационно-уплотнительного кольматажа начинается запорно-гидравлический кольматаж. Подъём уровня воды в стволе ПДС приводит к увеличению на забой и стенки ПДС гидростатической нагрузки, вследствие чего наименее плотно закольматированные участки трещин, каверн, крупных пор начинают фильтровать поток воды, загрязнённой углепородным штыбом, в массив. Оседая в этих каналах, штыб закупоривает оставшуюся пустотность подработанного массива и непрерывно уплотняется за счёт гидростатического давления. При этом со временем скорость фильтрации снижается и происходит новый подъём уровня воды с одновременным перемещением запорно-гидравлического кольматажа вверх по разрезу. Кроме того, в нижней части он продолжается, хотя и меньшими темпами, но с кольматацией массива более тонким материалом, в зависимости от гидростатического давления и скорости фильтрации. Параллельно происходящий гравитационно-уплотнительный кольматаж способствует образованию гидроупорных свойств подработанного массива. Описанный механизм и последовательность перемещения вверх по стволу ПДС запорно-гидравлического кольматажа с изменением кольматажного материала от грубозернистого к мелкозернистому и пылеобразному 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 [1].

Таким образом, в призабойной и примыкающей к ней нижней частях ПДС формируется максимальная плотность кольматажного материала.

Рассмотрим их на схеме рабочего интервала ПДС, типичной для условий угольного пласта m_3 ПАО «Шахта имени А.Ф. Засядько» (рис. 1).

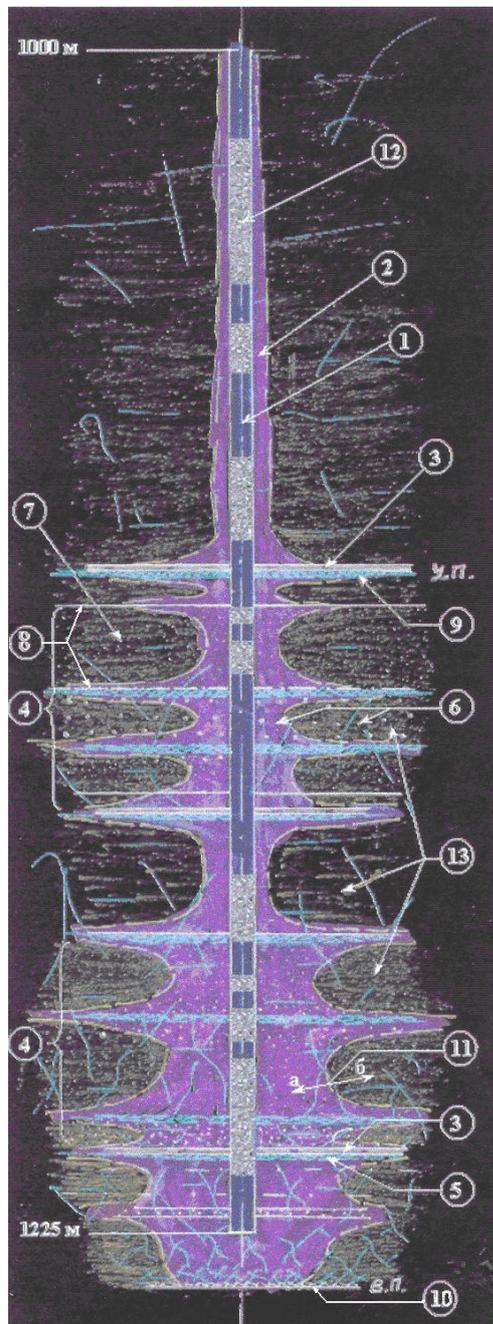
Во-первых, одной из причин кольматации является давление столба жидкости, заполняющей ПДС, запирающего газ в порах и трещинах газоносных или водо-газоносных горизонтов. Если есть наличие в разрезе водоносного или водо-газоносного горизонта этот фактор становится постоянно действующим и весьма часто непреодолимым препятствием процессу дегазации вмещающих пород и угольных пластов.

Так, например, для газоносных песчаников в условиях ПАО «Шахта имени А.Ф. Засядько» характерно заполнение открытой пористости водой с растворённым в ней газом на 60-75%. Вследствие этого после разгрузки эти песчаники отдают газ только совместно с водой, т.е. работают по типу водо-газоносного горизонта. И, если дренирующие возможности дегазируемой толщи меньше среднего притока воды в ствол ПДС, последний начинает подтапливаться. Процесс газоотдачи вначале снижается, а затем полностью прекращается.

Второй важной причиной кольматации является закупоривание пор и трещин в окрестности ПДС углисто-глинистыми частицами, источниками которых являются угли, углисто-глинистые сланцы, а также аргиллиты и алевролиты, разрушаемые в процессе их бурения и эксплуатации. Процесс идёт за счёт фильтрации глинистого раствора в зонах поглощения, если он применяется в процессе бурения или при целенаправленной цементации трещиноватых и неустойчивых продуктивных интервалов для их сохранения как эксплуатационных объектов. Заметим, что слой 7 (рис. 1) ограничен тонким (до 1 см) слоем слюдистого алевролита 8, а полость 9 скоротечного (газодинамического) разрушения образуется по контакту грубозернистого выбросоопасного песчаника на границе с пачкой мелкозернистого невыбросоопасного песчаника, отделенного тонким (1-2 см) прослоем алевролита 8, т.е. в условиях, когда интенсивность разрушения песчаника максимальная - до песка.

Таким образом, результатом разрушения песчаника является образование кольматационного материала, выносимого в ствол ПДС. Кроме того, образование полости 5 является причиной скоротечного разрушения угольного пропластка по типу газодинамического явления и выноса в ствол ПДС кольматационного материала. Угленосные пробки кольматационного материала разбуриваются в процессе традиционной прочистки ПДС.

Эксплуатационная кольматация идёт обычно достаточно интенсивно и является одной из главных причин преждевременного выхода ПДС из строя, т.е. закупорка трещин и пор в процессе всего периода эксплуатации скважины за счёт выноса в её ствол частичек скелетного материала коллектора. Подтверждение этого эффекта наблюдалось при выполнении ремонтно-восстановительных работ [2].



1 — перфорированный интервал ствола ГДС; 2 - закольматированная часть толщи ГДС; 3 - угольный пласт или углистый прослой; 4 - мощный слой («мост») газоносного песчаника, расчлененный на разнозернистые пачки; 5 - полость расслоения под угольным пропластком, расположенным под «мостом» песчаника; 6 - пачка грубозернистого выбросоопасного песчаника; 7 - крепкий невыбросоопасный песчаник; 8 - тонкий (до 1 см) слой слюдяного алевролита; 9- полость скоротечного (газодинамического) разрушения по контакту грубозернистого, выбросоопасного песчаника на границе с пачкой мелкозернистого, невыбросоопасного песчаника отделенного тонким прослоем алевролита; 10 - выработанное пространство целевого разрабатываемого угольного пласта, подрабатывающего ГДС; 11 - граница, разделяющая водонасыщенную «а» (дегазированную) и газонасыщенную «б» части угленосной толщи; 12 - угленосные «пробки» кольматажного материала, разрушаемые в процессе прочистки ГДС; 13 - газонасыщенные части слоев, загерметизированные кольматационным материалом и оттесненные вглубь от ствола ГДС.

Рис. 1 - Схема развития процессов кольматажа угленосной толщи в окрестности ГДС в процессе её эксплуатации

Нижние половины скважин оказались заполненными плотными пробками штыба углисто-глинистого и глинисто-углистого состава с плавными взаимопереходами в этом диапазоне. В результате чего постепенно или почти мгновенно прекращается газоотдача с последующим заполнением ПДС водой.

ИГТМ НАНУ совместно с ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько» был предложен пневмогидродинамический (ПГДВ) способ по интенсификации добычи метана угольных месторождений, в том числе как способ декольматации и восстановления дебита ПДС.

Сущность способа заключается в следующем. С земной поверхности бурится дегазационная скважина на угольный пласт с недобуриванием на расстояние не менее 5 его мощностей. По всей длине скважина обсаживается металлическими трубами с тампонажем затрубного пространства. На участке продуктивных горизонтов создается перфорация обсадных труб. ПДС заполняется водой на 30 м выше продуктивного горизонта. В скважину опускаются насосно-компрессорные трубы (НКТ). Устье скважины оборудуется устройствами ПГДВ для управления процессом воздействия как через НКТ, так и через межтрубное пространство (МТП). Компрессором создается в ПДС расчётное давление и осуществляется 5-6-ти ступенчатый сброс давления воздуха во времени равном 10-18 мин, т.е. производятся знакопеременные нагрузки на закольматированный фильтрационный объём. В результате этого, за счет скорости обратной фильтрации жидкости происходит активный вынос кольматационных материалов из пор и трещин в ПДС, что способствует эффективному соединению прискважинного фильтрационного объёма с фильтрационным объёмом подрабатываемого массива.

Следует отметить, что ПГДВ осуществляется на неподработанный горный массив и в результате прохождения лавы, и, как следствие посадки основной кровли, скважины могут быть отрезаны. Дебит таких скважин, как правило, отсутствует или значительно падает. Возможность применения ПГДВ не представляется возможным. Это связано с тем, что из-за нарушения целостности призабойного пространства скважины и затрубного пространства невозможно поддерживать необходимый уровень воды в ПДС и поэтому было принято решение изменить технологию ПГДВ на пневмодинамическое воздействие (ПДВ).

Экспериментальные работы в промышленных условиях по ПДВ на пласт m_3 были проведены на ПДС 1186-Д (ЗД-1) и 1185-Д ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько».

Скважина 1186-Д (ЗД-1) пробурена до 1280 м с углом наклона 90^0 . Работу начала с 23.08.10 г со средним дебитом $3240 \text{ м}^3/\text{сут.}$ и была отключена от системы газопровода 11.10.10 г. в связи с понижением дебита до 0, удаление забоя скважины от забоя ПДС 110 м. После обрушения основной кровли и удалении лавы от дегазационной скважины на 200 м при ее нулевом дебите на 11.10.10 было принято решение о проведении ПДВ. В скважину одновременно нагнетался воздух в НКТ и в межтрубное пространство. Проведено 3 цикла воздействия. В скважину нагнетался воздух до давления равного 5-7 МПа. В

результате установлено, что при первых циклах воздействия концентрация метана составила 4-6%, а максимальное давление в затрубном пространстве достигло 5,8 МПа. На вторые сутки ПДВ концентрация метана в скважине достигла устойчивого значения равное 6%. На следующие сутки ПДВ концентрация метана в скважине составила 100%, а 02.11.10 суточный дебит метана из скважины достиг 1,5 тыс м³. С 03.11.10 скважина была подключена к системе газопроводов ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько» и на 01.08.11 г. газоразделение продолжается.

Скважина 1185-Д пробурена до 1356 м с углом наклона 90⁰. Работу начала 18.06.09 со средним дебитом 1715 м³/сут. и была отключена от системы газопровода 01.06.11 г. в связи с понижением дебита до 100 м³/сут. Было принято решение о применении ПДВ. В скважину одновременно нагнетался воздух в НКТ и в межтрубное пространство до 1,6 МПа. Затем, при достижении показания максимального давления производился резкий сброс с помощью устройства для гидродинамического воздействия. Аналогия операций проводилась трижды. В результате воздействий среднесуточный дебит составил более 600 м³/сут. С 24.09.11 г скважина подключена к системе газопровода с давлением 8 атм.

Анализ работы скважин 1185-Д и 1186-Д (ЗД-1) свидетельствует, что при применении ПДВ наблюдается восстановление газоразделения и, как следствие, раскарматация призабойного пространства ПДС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Л. Звягильский, И.А. Ефремов, В.В. Бобрышев, К.К. Софийский. К вопросу о карматации поверхностно-дегазационных скважин в процессе их эксплуатации. // Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов/ Ин-т геотехнической механики НАН Украины. Днепропетровск, 2004. – Вып. 49. – С. 17-22.
2. Е.Л. Звягильский, В.Г. Илющенко. Методика производства опытно-экспериментальных работ по пневмогидроударному воздействию на подработанную (неподработанную) углегазонасыщенную толщу пород, вскрытую нисходящей дегазационной скважиной, с целью интенсификации притока газа// Донецк, 2003.- 46 с.