

Вероятно, у читателей статьи возникнет вопрос: а нужно ли опять «городить» что-то новое – ведь шахты и так имеют достаточно средств борьбы со взрывами? *И отсюда возникает вопрос № 3 на тех шахтах Донбасса, на тех их участках, где случились за последние несколько лет взрывы, где погибли люди – что, не было никаких средств взрывозащиты? Или были, но не сработали? Или сработали, но оказались неэффективными?...*

УДК 622.324

В.В. Камышан, В.В. Конарев,  
Корпорация «Индустриальный  
Союз Донбасса», г. Донецк

### **ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА**

*Розглядаються результати вивчення та перспективи застосування гідророзриву для дегазації вугільних родовищ Донбасу.*

### **THE EXPERIENCE OF THE HYDROBURST FOR DEGASSING THE COAL-ROCK MASSIF**

*The results of studying and further development of applying a hydroburst for degassing the coal beds of Donbas are analyzed.*

Донецкий бассейн – один из наиболее экологически опасных регионов Украины. Основным генератором выбросов метана в атмосферу является угольная промышленность. Ресурсы метана в карбоновых отложениях оцениваются от 12 до 25 млн. куб. м. Однако, несмотря на значительные ресурсы метана, извлечение его с использованием традиционных технологий, применяемых в газодобывающей промышленности, практически неосуществимо из-за особого характера связи метана с угольным веществом. Результаты опытно-промышленных работ в Донбассе по созданию технологий предварительной и техногенной дегазации с применением скважин, пробуренных с поверхности, показали перспективность направления, позволяющего при наличии инвестиций повысить уровень безопасности при освоении метаноносных угольных месторождений с одновременным ростом производственных и экономических показателей угольных шахт, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и организовать рентабельное извлечение от 3 до 5 млрд. куб.м метана с использованием его в качестве моторного топлива, для выработки электроэнергии, технологических сырья и в коммунально-бытовых целях.

В практике угольной промышленности применяются 2 способа дегазации угольных месторождений с применением скважин – подземный и с поверхности.

Недостатки подземного способа известны: работы по дегазации совмещаются с очистными работами, сложная и ненадежная транспортная система для каптируемого газа, практически невозможно получить газ, не разбавленный воздухом, ограничение по мощности применяемого оборудования, безопасность работающих зависит также от состояния общей безопасности в шахте. Тем не менее, на сегодняшний день исключить его применение полностью нельзя, так как имеется возможность совершенствования, связанная с технологиями, позволяющими получать газ с более высокой концентрацией метана.

Перспективным является способ дегазации углепородного массива с применением скважин, пробуренных с поверхности.

На шахтах широко применяется способ техногенной дегазации, скважинами, пробуренными с поверхности, углепородного массива с использованием эффекта частичной разгрузки от горного давления. В этом случае количество одновременно работающих скважин не превышает числа действующих лав на газоносных пластах. Извлечение газа через такие скважины характерно непостоянством объёма и давления во времени, осложнено выбросами загрязнённой воды.

Но наиболее предпочтительным является способ предварительной дегазации угольных месторождений с применением скважин, пробуренных с поверхности заблаговременно, до начала горных работ или до строительства шахты. Применение таких скважин позволяет избежать сложностей, связанных с инфраструктурой поверхности и раскрытием горных работ, расширяется возможность маневра при выборе мест заложения скважин. Возможность индустриализации способа позволяет реализовать широкомасштабные долговременные проекты с заблаговременной подготовкой угольных месторождений к безопасной отработке с извлечением газа с высокой концентрацией метана в промышленных объёмах.

Распространено мнение, что внедрение предварительной дегазации в основном сдерживается отсутствием высокопроизводительной буровой техники, способной пробурить скважину за минимально короткий срок (10-15 суток). С этим можно согласиться, но главное заключается не в бурении, хотя эффективное бурение повышает качество скважины и снижает её стоимость. Как показали многочисленные опыты бурения дегазационных скважин в прошлом, получить промышленные дебиты газа из неразгруженного углепородного массива, если нет продуктивного горизонта, содержащего свободный газ, не удастся, так как величина газоотдача из пласта пропорциональна площади его обнажения скважиной. Последняя относительно мала, увеличение её возможно только с применением специальных технологий, повышающих газоотдачу. Поэтому реализация широкомасштабных проектов дегазации угольных месторождений в первую оче-

редь будет зависеть от правильно выбранного способа воздействия на углепородный массив, стимулирующего газоотдачу.

Наиболее распространенный способ – гидравлический разрыв пласта, рекомендованный к применению в угольной промышленности в 1957г. академиком А.А.Скочинским, который позволяет увеличить площадь обнажения пласта на несколько порядков по сравнению с площадью обнажения, образованной скважиной, что позволяет пропорционально повысить газовыделение в скважину. Таким образом, главным процессом в технологии предварительной дегазации углепородного массива на сегодняшний день является процесс его гидроразрыва для создания одной или нескольких трещин. Технология процесса хорошо отработана в США на многих угольных месторождениях и применяется на практике несколькими компаниями, в том числе Халлибуртон и Шлюмбергер, но практически не отработана в промышленных масштабах в Украине.

В Донецкой и Луганской областях с 1965 по 1990 годы институтами МГИ, МакНИИ при участии институтов КГМИ, ИГТМ и производственных объединений «Донецкуголь», «Макеевуголь», «Укруглегеология», «Спецтампонажгеология» проведены исследования и эксперименты по разработке технологий гидродинамического воздействия на углепородный массив с целью борьбы с выбросами угля, породы и газа и снижения газобильности горных выработок. Были исследованы параметры гидроразрыва для их использования при предварительной дегазации угольных пластов и пород, а также параметры гидрорасчленения пластов для достижения релаксации напряжений в выбросоопасном угольном пласте.

В общей сложности были гидродинамически обработаны угольные пласты и песчаники из 52 скважин на шахтах, работающих в различных горно-геологических условиях. Для борьбы с выбросами в угольные пласты и песчаники закачивали от 800 до 80000 куб.м жидкости с целью получения больших радиусов влияния скважин. Как показали результаты опытов, это приводило к релаксации пластов, но для дегазации в нагнетании таких объемов не было необходимости. Для проведения гидроразрывов требовались меньшие объемы нагнетания.

Гидроразрыв – это режим гидродинамической обработки, при котором темп (расход) подачи жидкости значительно превышает фильтрационную приемистость пласта, что сопровождается быстрым подъёмом давления до величины, достаточной для разрыва (разрушения) пласта по направлению наименьшего сопротивления разрыву. После разрыва пласта давление скачкообразно падает вследствие значительно возрастающей гидропроводности пласта, определяемой главным образом параметрами раскрытых трещин.

В практике гидроразрыва трещины образовывались геометрически закономерны по отношению к скважине и несогласованно по отношению к системам пластовых трещин. В случае развития при гидроразрыве трещин небольшого объёма скачки падения давления могли повторяться. Как правило, развитие трещин происходило за короткий промежуток времени и,

при резком увеличении расхода жидкости для поддержания давления, близкого по величине к максимальному, длина её была значительной. Выход воды из трещин в угольном пласте наблюдался на расстоянии 130, 160 и даже до 400 м от скважины в одном или нескольких направлениях.

Анализируя практически полученные параметры, процесс гидроразрыва можно разделить на 3 стадии: начальная стадия – ввод скважины в режим гидроразрыва, основная стадия – собственно гидроразрыв и заключительная стадия – окончание процесса. Каждая стадия характеризуется только ей присущими параметрами, которые являются следствием взаимодействия рабочей жидкости с пластом во времени и пространстве. Физико-механические свойства пласта, глубина залегания, мощность и характер его вскрытия из скважины (способ перфорации) также оказывают влияние на каждую из стадий. Кроме того, первая оказывает существенное влияние на каждую из последующих и на результаты всего процесса гидроразрыва. В этом заключается один из принципов управления процессом гидроразрыва. В целях разработки режимов, позволяющих управлять процессом гидроразрыва, были проведены исследования каждой из стадий на 57 пластооперациях, произведенных из 31 скважины на глубинах от 250 до 1160 м.

Начальная стадия состоит из заполнения жидкостью скважины до устья и определения скорости её поглощения пластом под гидростатическим давлением, закачки жидкости с плавным наращиванием давления до максимальной величины путем постепенного увеличения расхода регулированием производительности насосных агрегатов и проведением замеров величины поглощения жидкости при фиксированном давлении и сравнении с предыдущей аналогичной величиной. Когда обнаруживается, что разность между двумя смежными замерами начинает снижаться, увеличением производительности насосных агрегатов резко повышается давление в скважине. После достижения максимальной величины давление в скважине скачкообразно падает, что свидетельствует об окончании начальной стадии и начале основной стадии процесса гидроразрыва. Во всех случаях максимальное давление достигалось после нагнетания от 5 до 7 куб.м воды. Установлено, что в начальной стадии гидроразрыва в интервале исследуемых глубин для углей марок Ж, Г и Т уравнение связи максимального давления с глубиной описывалось зависимостью  $P_3=0,0127H+14,6$  (МПа) при  $r=0,98\pm 0,1$ , где H в метрах.

В процессе основной стадии, с целью увеличения ширины и длины трещины, суммарная производительность насосных агрегатов повышалась до проектной (расчётной) или максимально возможной по мощности агрегатов величины, чтобы поддерживать давление на уровне, близком к максимальному. После закачки определенного объема жидкости, необходимого для получения трещины расчетных размеров, производилась закачка закрепителя трещин (в наших опытах - кварцевый песок с крупностью зёрен 0,4-1,2 мм) с водой или с одной из вязких жидкостей (раствор крахмала со щелочью, сульфат-спиртовая барда, карбоксиметилцеллюлоза) до

Таблица

## Показатели гидроразрываугольных пластов и песчаников

Номер скважины	Синонимика пласта	Мощность пласта, м	Глубина залегания, м	Максимальное давление, МПа	Максимальный расход, л/с
1	2	3	4	5	6
Шахта Перевальская					
3	$k_4$	0,4	255	22,7	57,5
	$k_3^B$	0,85	293	18,6	65
Шахта Хрустальская					
1	$l_3^B$	0,6	364	34,7	61,5
	$l_2^B$	1,0	399	35	43,7
2	$l_2^B$	0,9	391	30	43,7
Шахта им. Менжинского					
1	$l_6$	0,8	660	25,6	35
Шахта №29					
1	$h_7$	1,3	914	28	34
2	$h_8$	0,6	837	23,5	32
	$h_7$	1,3	912	28,5	37
Шахта им. Скочинского					
1	$h_6^1 SH_5^0$	15	1005	23	43
	$h_8$	0,6	889	28,5	43,7
2	$h_8$	0,7	884	38,8	43,7
4	$h_6^1 SH_5^0$	15	1100	23	43
5	$h_5 Sh_6^1$	38	1156	31	25
6	$h_5 Sh_6^1$	45	1132	31,5	50
	$h_6^1$	1,6	1110	23	43
7	$h_5 Sh_6^1$	15	1129	32	40,6
8	$h_5 Sh_6^1$	40	1133	25	42,6
	$h_8$	0,65	1015	37,5	42,6
Шахта им. Калинина					
1	$h_{10}$	1,3	620	28	55
	$h_{11}+h_{11}^1$	0,44	583	22	42
2	$h_{10}$	1,3	631	31	57
	$h_{11}+h_{11}^1$	0,7	598	22	42
3	$h_{10}$	1,3	765	31	44
5	$h_{10}$	1,3	944	34	31
10	$i_1$	0,34	893	23	25
11	$i_1^5$	0,54	868	21	27
12	$i_1$	0,3	945	28	19
13	$i_1$	0,5	911	27	20,4

достижения проектных (расчётных) количеств или давления, близкого к максимальному. В процессе выполнения основной стадии иногда наблюдался повторный гидроразрыв.

Заключительная стадия включала продавку последней порции жидкости с песком расчётным объёмом воды при меньшем расходе по сравнению с расходом в основной стадии, прекращение закачки и закрытие скважины для отстоя и снижения давления.

В таблице приведены показатели расхода и давления по большинству выполненных пластоопераций гидродинамического воздействия на пласт в режиме гидроразрыва.

Программа исследований процесса гидроразрыва угольных пластов предусматривала подземные наблюдения в зонах, прилегающих к скважинам, во время их вскрытия. На шахте им. Менжинского при выемке угля по пласту  $l_6$  наблюдались трещины гидроразрыва по обе стороны от скважины перпендикулярно к забою лавы. На шахте Перевальская после гидроразрыва пласта  $k_3^B$  трещина наблюдалась не только в пласте, но и в кровле, направление её было ориентировано под углом  $45^\circ$  к плоскости забоя лавы. Трещина в пласте имела ширину около 10 мм, в кровле – 25 мм и простиралась вверх на расстояние свыше 2,5 м. На шахте №29 во время гидроразрыва вода вышла по угольному пласту  $h_6^1$  в забой лавы, отстоящий на 130 м от скважины. Трещина шириной 30 мм наблюдалась по пласту на протяжении 51 м с ориентацией под углом  $40^\circ$  к плоскости забоя лавы. На шахте Хрустальская во время гидроразрыва по пласту  $l_2^B$  вода вышла в откаточный штрек на расстоянии 160 м от скважины. На время проведения гидроразрыва лавы останавливались по условиям безопасности.

В случаях, когда требовалось достижение релаксации пластов для снижения их выбросоопасности, часть пластоопераций выполнялась в режимах гидрорасчленения с применением микроциклического нагнетания жидкости с максимальным давлением примерно на 20% меньшим, чем требуется для гидроразрыва. В результате такого нагнетания искусственные трещины не образовывались.

Выводы. В Донбассе в течение 1965 – 1990 годов проведены исследовательские и экспериментальные работы по предварительной и техногенной дегазации углепородного массива. Предварительная дегазация позволяет реализовать широкомасштабные проекты дегазации угольных месторождений. Основным процессом в технологии предварительной дегазации является интенсификация газоотдачи углепородным массивом. Опыты в Донбассе по интенсификации газоотдачи посредством гидродинамического воздействия на пласты горных пород в режиме гидроразрыва, проведенные на глубинах 250 – 1160 м, показали перспективность направления. Результаты опытов могут быть полезны для ориентации при применении в Донбассе технологии дегазации угольных месторождений, принятой в США.