

Н. С. СУРГАЙ, доктор техн. наук,
М. Н. ТОЛСТОЙ, канд. техн. наук
(УкраИПроект)

В. С. КОЛОМИЦ, канд. техн. наук,
А. Л. ЗУЙКОВ, инж.
(ДонНТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОЙ СТРУИ — ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ БОРЬБЫ С ВЫБРОСАМИ

Сегодня уже нет необходимости доказывать приоритетную роль угля для мировой энергетики. Во сто крат важнее этот вывод для Украины (доля угля составляет 95,6% всего органического топлива), которая располагает запасами на несколько сот лет интенсивной добычи. Отсюда и значимость отрасли для развития экономики страны, для обеспечения энергетической, экономической и политической независимости государства.

Сердце угольной промышленности Украины — Донецкий бассейн — отличается сложностью горно-геологических условий, выражающейся в большом количестве тонких и весьма тонких пластов (около 80% угля содержится в пластах мощностью до 1 м). К тому же в них представлен практически весь ряд метаморфизма от длиннопламенных углей до антрацитов. Например, по уровню спекаемости угли Центрально-го района самые ценные в мире. При этом почти все разрабатываемые пласты Донбасса подвержены газодинамическим явлениям: внезапным выбросам угля, газа и породы, обрушениям, горным ударам и прорывам метана.

Многообразие и широкая распространенность газодинамических явлений не только повышают вероятность травматизма рабочих, повреждения оборудования и выработок, но и усложняют технологию ведения работ, вызывают дополнительные материальные и трудовые затраты, приводят к ограничению нагрузки на добычные участки и шахту в целом, к снижению технико-экономических показателей и повышению себестоимости угля. Поэтому проблема борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах чрезвычайно актуальна.

При разработке пластов, склонных к внезапным выбросам, применяется комплекс мер по повышению безопасности, опирающихся на опыт работы на выбросоопасных пластах и результаты научного прогнозирования потенциальной опасности шахтопластов или их участков по тому или иному виду газодинамического явления.

Анализ [1] показывает, что 7% случаев выбросов происходит на крутых пластах и 93% — на пологих. При этом более высокая вероятность проявления выбросоопасности

отмечена в подготовительных выработках (84% как при крутом, так и пологом залегании пластов). Следует отметить, что в подготовительном забое, где рабочее пространство весьма ограничено, сосредоточение людей и механизмов затрудняет распознавание предупредительных признаков приближающегося выброса, а его последствия (даже выброса небольшой интенсивности) нередко бывают трагичны.

Способы предотвращения газодинамических явлений в выработках подразделяются на региональные (для профилактической обработки значительных по площади участков шахтопластов) и локальные (для обработки призабойной части пласта в выработках). К первым относятся опережающая отработка защитных пластов, увлажнение и дегазация через длинные скважины.

Опережающая отработка защитных пластов — один из наиболее эффективных и распространенных способов, но расширить область ее применения на большие глубины не представляется возможным из-за малого количества сближенных невыбросоопасных пластов. Другие же региональные способы практически не получили промышленного применения из-за низкой эффективности в условиях неразруженных от горного давления зон угольных пластов и интенсивного проявления газодинамической активности при бурении скважин.

Незащищенные выбросоопасные пласты следует разрабатывать с применением региональных мероприятий и только при неэффективности или невозможности их внедрения — локальных. К последним относятся: гидрорыление, гидротжим и низконапорное увлажнение угольного пласта, бурение и гидровывывание опережающих скважин, торпедирование призабойной части и др. Однако противовыбросные мероприятия локального характера не всегда дают положительный эффект: при бурении скважин и после часто случаются внезапные выбросы. Так, по данным МакНИИ [2], к началу 1990 г. на шахтах Донбасса произошло 198 выбросов при бурении скважин диаметром от 42 до 950 мм. К тому же эффективный радиус влияния опережающих скважин с увеличением глубины разработки существенно снижается, что доказывает нецелесообразность бурения.

Исследования гидрорыления и гидротжима как противовыбросных мероприятий свидетельствуют, что они многооперационны, при их выполнении требуется большое количество несовершенного оборудования и значительные затраты времени на подготовительно-заключительные операции. Перечисленные недостатки в среднем в 1,5 раза ухудшают показатели проведения подготовительных выработок. Негативный опыт камуфлетирования еще в начале 70-х годов привел к выводу о его нецелесообразности для предотвращения выбросов.

Торпедирование как способ предотвращения выбросов не относится к практически значимым и перспективным, что связано с рядом причин. Во-первых, торпедирование без предварительного нагнетания воды в пласт осуществляется в скважинах диаметром 55—60 мм, что не исключает возникновения выбросов во время бурения. Во-вторых, торпедирование с предварительным нагнетанием воды в пласт связано с определенными технологическими трудностями, которые обусловлены необходимостью досылать заряды ВВ сразу же после завершения нагнетания. По указанным причинам этот способ на шахтах Донбасса не применяется.

Из-за неэффективности ряда локальных противовыбросных мероприятий, как правило, проведение выработок осуществляется в режиме сотрясательного взрывания. Уровень безопасности работ повышается, но в то же время резко снижаются технико-экономические показатели вследствие ограниченного количества взрываний в сутки (хотя период ведения БВР можно сократить на 15—20% за счет применения ингибиторной пластической заделки) и больших материальных затрат на ликвидацию последствий спровоцированных выбросов.

Способ щелевой разгрузки — один из наиболее перспективных и в значительной степени свободный от перечисленных недостатков. Примерно 40 лет назад стала популярной идея использования подрезания и подплавивания угольного пласта для снижения вероятности внезапных выбросов угля и горных ударов [3]. Однако к концу 70-х годов практически все работы в этом направлении были прекращены. Позднее МакНИИ разработал и испытал в шахтных условиях три способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа, основанных на принципе щелевой разгрузки: разгрузочные пазы; раздельная (последовательная) выемка угля и пород в подготовительных выработках; образование щели по всей длине лавы. Практика доказала эффективность этих способов и они стали нормативными.

Согласно Инструкции [4] разгрузочные пазы в подготовительных выработках должны удовлетворять следующим требованиям: паз сплошной, а его плоскость перпендикулярна к вмещающим породам; ширина пазов 60—80 мм, глубина не более 2,5 м, минимальное неснижаемое опережение 1 м; на пологих пластах пазы следует располагать на расстоянии 0,5 м от забоя под углом 5—10° к оси выработки в сторону угольного массива.

ЦНИИполземмашем на базе бурильной установки БУ-1 разработана установка УЩ-1 [5], образующая разгрузочные пазы путем одновременного выбуривания трех шпуров в одной плоскости на расстоянии 25 мм один от другого. Остатки щели между шпурами скалываются специальными просечками на штангах. За один рабочий ход исполнительного органа УЩ-1 образуется паз шириной 185 мм и глубиной 2,1 м. Специальной коронкой диаметром 300 мм выбуривают угольный пласт, затем бурят шпур по породе (коронка диаметром 43 мм). Хотя данному способу и присуща высокая степень совмещения работ в подготовительном забое, однако механическое выбуривание — процесс трудоемкий и небезопасный. Поэтому актуальной остается задача создания более технологичных и безопасных способов и средств осуществления щелевой разгрузки пластов.

Анализ указывает на принципиальную возможность реализации идеи щелевой разгрузки на основе гидрорывовывания разгрузочных пазов и щелей тонкими высоконапорными струями воды. По данному принципу работает гидравлический комплекс КБГ [6], предназначенный для бурения пластовых скважин различного технологического назначения при прямом ходе и для образования разгрузочных пазов в целях предотвращения выбросов угля и газа при обратном. Однако эффективно использовать этот комплекс не представляется возможным в связи с большой массой и габаритами установки и значительной разницей в размерах вымываемой скважины и разгрузочного пазов.

В НПО «Углемеханизация» создана навесная установка УНР [1], предназначенная для предупреждения внезапных выбросов угля и газа путем образования разгрузочных пазов в пласт (мощность не менее 0,3 м, коэффициент крепости угля не более 2 при любых углах падения) впереди забоя подготовительной выработки, проводимой комбайновым или буровзрывным способом. Установка снабжена устройством, автоматически переключающим в конце хода направление подачи воды из насадки буровой головки на насадок для образования разгрузочных пазов. Управление установкой дистанционное, что позволяет снизить трудоемкость работ по сравнению с выбуриванием сверлом не менее чем в 4 раза.

Серьезный недостаток, не дающий возможности рекомендовать к широкому применению установки УНР, по нашему мнению, заключается в необходимости вымывания первоначальных скважин большого диаметра (230—300 мм), что создает ситуацию, провоцирующую выброс и исключаящую выемку оставшегося пласта. Это вызывает резкое повышение трудоемкости и снижение темпов проведения выработок. В то же время вымывание разгрузочных пазов и выемка угля требуют к себе особого подхода, поскольку относятся к потенциально наиболее опасным операциям. Поэтому наиболее целесообразно выполнять обе операции с помощью водяной струи, в значительной мере обеспечивающей безопасность при одновременном пылеподавлении.

Следует подчеркнуть, что использование стационарной струи в качестве разрушающего органа — не самый удачный вариант. Установлено [7, 8] превосходство прерывистых (импульсных) струй над стационарными, заключающееся не только в повышении разрушающей способности струи в 1,5—2,5 раза, но и в снижении энергозатрат в 3 раза и более, а также влажности отбываемого угля на 5—15%. Это позволяет использовать импульсные струи на шахтах с традиционной («сухой») технологией. Импульсная струя характеризуется такими отличительными особенностями:

натекает свободными порциями, поэтому площадь удара и вся его сила используются целиком (за короткое время к объекту прилагается большое усилие);

от воздействия струи в горном массиве образуется ударная волна, которая отражается от имеющихся внутри массива неоднородностей и обнаженной поверхности, что приводит к появлению растягивающих напряжений;

при воздействии струи на забой жидкость под большим давлением проникает в образовавшиеся трещины и откалывает частицы угля (эффект «гидравлического клина»);

за время воздействия струи на забой в угольном массиве проявляется усталостный эффект.

Институтом геотехнической механики научно обоснована и широко разрабатывается концепция [9, 10] повышения безопасности труда на основе принципиально новых способов и средств снижения выбросоопасности, в частности, с использованием пульсационного воздействия путем виброволновой, виброударной, пневмо- и гидроимпульсной обработки выбросоопасных пластов. Практика показала перспективность и эффективность этих видов воздействия на горный массив для его разгрузки и дегазации. Заметим, что при виброобработке сеть дополнительно образовавшихся трещин позволяет диффундировать газ из зоны технологических трещин (не имеющих выхода на забой и практически не влияющих на фильтрацию газа из глубины) и нетронутого угольного массива сквозь зону "перемятого" угля (препятствующего передвижению газового потока в направлении к забою).

Использование импульсной струи для образования разгрузочных пазов и выемки оставшегося угля не только улучшает энергетические показатели гидроразрушения, но и является противывбросным мероприятием. По мнению авторов, наиболее удачное предложение в этой области — разработанная ДонНТУ конструкция генератора импульсных струй (ГИС) релаксационного типа [11]. Начиная с 90-х годов, на базе ГИС созданы, прошли испытания и хорошо зарекомендовали себя на производстве очистная, нишевые — поисковая и буровая машины.

Использование ГИС для образования разгрузочных пазов требует более полного анализа импульсной струи как органа разрушения и количественной оценки параметров нарезаемой щели. Одним из основных трудов по использованию импульсной струи для поставленной цели является работа [12], в которой рассмотрено три элементарных процесса: воронкообразование (в случае использования установки УНГ данный процесс соответствует образованию скважины); щелеобразование (в нашем случае образование разгрузочных пазов); выемка угля. На базе исследований можно определить основные операции технологического процесса образования разгрузочного паза: первоначальную воронку необходимо создавать двумя-тремя импульсами; разгрузочные пазы по всей длине образуются при оптимальном шаге, обеспечивающем максимальную глубину щели; при нарастании разгрузочного паза в глубь угольного массива следует максимально приближать ствол установки ко дну паза; при формировании его плоскости надо придавать наклон, обеспечивающий самотечное транспортирование горной массы в направлении к забою.

Следовательно, образование пазов не включает в себя вымывание скважины (как это происходит при установке УНР), что значительно снижает трудоемкость

процесса (энергоёмкость воронкообразования в 4 раза выше, чем щелеобразования) и вероятность закупоривания скважины отбитой горной массы при транспортировании. Исследования [1, 12] показали, что импульсная струя среднего диаметра образует щели в 10 раз быстрее, чем стационарная тех же параметров. При этом ширина щели (около 70 мм) не превышает предельных значений [4], а энергоёмкость ее образования снижается в 3 раза.

Кроме того, использованием импульсной струи как органом образования разгрузочных пазов далеко не исчерпываются ее возможности. С помощью генерируемых мощных импульсных струй возможна выемка всего пласта. Операция сопровождается повышением безопасности ведения горных работ (что связано с применением водяных струй) и снижением энергоёмкости разрушения в 5—10 раз. Это примерно соответствует энергоёмкости разрушения угля исполнительными органами режущего действия. Дополнительная влажность отбитого угля в области рациональных давлений составляет 7—9%, что позволяет уменьшить запыленность.

Конструкция и выходные параметры гидроимпульсной установки обеспечивают образование разгрузочных пазов в угольном пласте подготовительного и очистного (его верхней и нижней ниши) забоев в зоне геологических нарушений и при наличии препарированного угля в соответствии с нормативными требованиями. При этом скорость нарезки пазов импульсной струей на порядок выше, чем стационарной, а энергоёмкость их образования ниже в 3 раза и более.

Выемка пласта проходит в два этапа: на первом — образование разгрузочных пазов, на втором — разрушение пласта угля и транспортировка отбитой горной массы. Такая поэтапность позволяет снизить вероятность возникновения выброса, уменьшить количество операций и трудоемкость проходческих работ.

Импульсный характер приложения нагрузки к массиву способствует развитию макро- и микротрещин, интенсифицирующих равномерное и устойчивое дегазирование массива из глубины. Резко возрастает безопасность, что связано с низкой запыленностью, отсутствием непосредственного контакта исполнительного органа и массива и с возможностью выполнения технологических мероприятий в автоматическом режиме при дистанционном управлении установкой.

Таким образом, достаточно эффективным способом предотвращения внезапных выбросов угля и газа является разгрузка угольного пласта с помощью щелей. Однако промышленное их образование путем механического или гидравлического (стационарной

струей) разрушения угля сдерживается из-за сложности и опасности технологии.

Достижения в области техники и технологии гидроразрушения угля импульсной струей являются предпосылкой для реализации рассмотренного принципа щелевой разгрузки. В целях определения оптимальных значений параметров гидровывмывания разгрузочных пазов с дальнейшим разрушением вмещающего угольного пласта необходимы дополнительные исследования. По мнению авторов, промышленное внедрение предлагаемых установок не только повысит безопасность работ, но и улучшит технико-экономические показатели проведения подготовительных выработок.

1. *Азафонов А. В.* Способы и средства обеспечения безопасности проведения подготовительных выработок по выбросоопасным пластам.— Донецк: Донбасс, 1998.

2. *Предотвращение выбросов угля и газа с помощью щелевой разгрузки/ В. Н. Николин, С. Н. Александров, В. В. Яйло, Г. М. Фридман.*— К., 1992.

3. *Николин В. Н., Васильчук М. П.* Прогнозирование и устранение выбросоопасности при разработке угольных месторождений.— Липецк: Липецкое изд-во Роскомпечати, 1997.

4. *Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, пород и газа.*— М., 1989.

5. *Сушко И. Л.* Проведение подготовительных выработок по выбросоопасным пластам и породам.— К.: Техника, 1987.

6. *Друпов Н. А., Молчанов А. И., Лаврушин А. Н.* Испытания гидравлического комплекса КБГ на крутом пласте// Уголь Украины.— 1987.— № 5.

7. *Тимошенко В. Г., Кравец В. Г.* Пульсирующий гидромонитор с импульсным повышением давления// Уголь Украины.— 1985.— № 5.

8. *Ракишев Б. Р., Шерстюк Б. Ф., Стырон Б. К., Ястребов Е. К.* К вопросу исследования разрушения горных пород гидронпульсными струями высокого давления// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.— 1985.— № 6.

9. *Потураев В. Н., Минеев С. П.* Использование вибрационных и волновых эффектов при отработке выбросоопасных пластов.— К.: Наукова думка, 1992.

10. *Потураев В. Н., Минеев С. П.* Пульсационные и волновые эффекты в горном массиве.— К.: Наукова думка, 1993.

11. *Пат. 58823А* Украины, МКІ Е 21 С 3/20. Гидроимпульсное устройство/ Н. Г. Бойко, А. Д. Гончаров, В. В. Гулин, П. Ф. Зима, В. С. Исидченко, В. С. Коломиец, Н. С. Сургай.

12. *Бугрик В. А.* Разработка гидроимпульсного исполнительного органа нишевымочных машин: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06.— Донецк, 1988.

Б. М. ДЕГЛИН, канд. техн. наук
(ООО "Закуювальваюча апаратура")

БЛЕСК И НИЦЕТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ*

Динамические и газодинамические явления в шахтах — классический образец междисциплинарной проблемы, охватывающей экономические, социальные, научные (в широком спектре теоретических и прикладных наук) и технические вопросы. Решение такой проблемы под силу только обществу в целом. Важная часть ее — диагностика массива и прогнозирование его состояния. Уточним, речь пойдет о так называемом "текущем" прогнозе выбросоопасности, применяемом при ведении очистных и подготовительных работ.

Известно, что внезапные выбросы угля и газа — относительно редкое событие: они происходят на небольшой части выбросоопасного пласта (в среднем менее 1% отработываемой площади, на отдельных участках — до 5%). Примерно такова и та доля пла-

ста, которая нуждается в профилактической обработке при условии, что эта обработка эффективна, а средства диагностики точно указывают на опасную часть пласта. При отработке остальной части пласта (95—99% общего объема) профилактические мероприятия заведомо не нужны.

Дальнейшее использование этого знания может идти разными путями, а именно: для безопасного ведения горных работ необходимы средства прогнозирования опасных ситуаций и эффективные меры борьбы с опасностью; для повышения экономической эффективности ведения горных работ без снижения безопасности требуются средства надежного прогнозирования безопасных ситуаций. Другими словами, для обеспечения безопасной отработки пласта необходимо знать о наличии опасности, а для эффективной работы — об отсутствии опасности и возможности не выполнять профилактические мероприятия. Можно показать, что

* В порядке предложения.