

- ческом воздействии// Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины.- 1999, - Вып.13. – С. 47-54.
4. Новицкий В. Теория упругости.- М.: Мир, 1975.- 872с.
5. Дулан Э.,Миллер Дж.,Шилжерс У. Равномерночисленные методы решения задачи с пограничным слоем.-М.:Мир.-1983.-200с.

УДК 622.831.322

С.В. Кулинич,  
ГХК «Артемуголь», Украина

**СНИЖЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ  
ВЫБРОСООПАСНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА  
НАПРАВЛЕННЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ  
ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕМ**

*Викладені результати експериментальних досліджень по використанню спрямованого гідравлічного тріщиноутворення з метою зниження газодинамічної активності викиднебезпечного масиву гірських порід*

**THE REDUCTION OF THE GAS-DYNAMIC ACTIVITY OF THE  
ROCK MASSIF WITH THE RISK OF EXPLOSION DIRECTED  
BY HYDRRAULIC CRACKING**

*The results of the experiments on applying a directed hydraulic cracking are presented with the aim to reduce the gas-dynamic activity of the rock massif with the risk of emission.*

В практике ведения подземных горных работ в глубоких шахтах широко применяются скважинные методы силового воздействия на газоносный углепородный массив для осуществления региональных и локальных методов борьбы с газодинамическими явлениями.

Одним из эффективных методов изменения геомеханического состояния углепородного массива является гидравлический разрыв, осуществляемый путем гидростатического нагружения нагнетательных скважин заданных геометрических размеров и пространственной ориентации. На базе выполненных ИГТМ НАН Украины совместно с ИТР ГХК «Артемуголь» теоретических, лабораторных и шахтных исследований разработан метод направленного гидравлического трещинообразования в массиве горных пород.

Идея использования указанного метода для изменения геомеханического состояния горного (в том числе выбросоопасного) массива в призабойной части выработки заключается в создании на определенном удалении от свободной поверхности системы трещин заданной пространствен-

ной ориентации. При этом предполагалось, что в результате осуществления направленного трещинообразования произойдет изменение геомеханического состояния среды: разуплотнение, частичная разгрузка, дегазация и, как следствие, снижение газодинамической активности призабойной части массива. Положительным фактором при буровзрывном проведении горных выработок является экранирующее действие искусственно созданных полостей на пути распространения волн разрушения в глубь массива.

Обеспечение условий для направленного трещинообразования в природных условиях зависит от природных и технологических факторов.

Природными факторами (прочностные, фильтрационные свойства среды, газовлагоднасыщенность, напряженное состояние массива) в основном обуславливаются силовые параметры, необходимые для осуществления искусственного трещинообразования. Технологические факторы, включающие рациональное расположение горных выработок и нагнетательных скважин относительно главных компонент поля действующих напряжений; способы герметизации в скважинах нагнетательных камер; выбор и использование соответствующих составов рабочей жидкости, заданные режимы ее нагнетания, существенно влияя на конечные результаты разрушения массива гидроразрывом, позволяют в определенной степени активно управлять процессом направленного трещинообразования.

Сопоставительный анализ лабораторных и шахтных экспериментальных исследований условий образования и траекторий распространения трещин гидроразрыва в породном массиве при различных технологических параметрах внутрискважинного нагружения показал, что при удлиненных нагнетательных камерах (более трех диаметров скважины) с использованием распорных резиновых герметизаторов трещины внутрискважинного разрушения, распространяясь по образуемым скважин (продольный гидроразрыв), быстро достигают забойной поверхности горной выработки, после чего дальнейшая гидравлическая обработка массива не эффективна. Более эффективным является внутрискважинный разрыв с использованием безраспорных способов герметизации (цемент, полимеры и др.) нагнетательных камер, длиной не более 0,1 диаметра скважины.

Установлено [1-3], что гидроразрыв и распространение гидравлических трещин при этом происходит в плоскости, ортогональной продольной оси нагнетательной скважины, и может распространяться в радиусе нескольких метров, не выходя на свободную поверхность горной выработки.

Физическая сущность процесса указанного трещинообразования заключается в том, что при обеспечении минимального зазора между герметизирующей поверхностью и забоем скважины деформации стенок нагнетательной камеры в радиальном направлении (и, следовательно, образование продольного разрыва) затруднены из-за удерживающего влияния сближенных торцевых поверхностей (днищ). При этом гидроразрыв проявляется в отрыве днищ и образовании трещины в направлении, ортогональном продольной оси скважины (поперечный гидроразрыв).

Основными технологическими операциями, общими для способов разрушения горных пород гидравлическим разрывом, являются бурение скважин заданной ориентации, герметизация нагнетательных камер определенных размеров, нагнетание рабочей жидкости в установленном темпе до избыточного давления, обеспечивающего образование начальных трещин и их дальнейшее распространение.

Технологические схемы осуществления способа направленного трещинообразования в шахтных условиях разработаны с использованием результатов теоретических и экспериментальных исследований механизма возникновения и распространения трещин гидроразрыва в напряженной среде с известными прочностными и фильтрационными свойствами [2, 3].

Технология направленного трещинообразования в породном массиве призабойной части горной выработки заключается в следующем. Из забоя горной выработки бурят нагнетательную скважину. В торцевой ее части герметизируют нагнетательную камеру длиной не более 0,1 диаметра скважины. Затем в нагнетательную камеру при помощи высоконапорного насоса с темпом 1-3 МПа/с закачивают рабочую жидкость под избыточным давлением, обеспечивающим начальное образование и распространение плоскости гидроразрыва на заданное расстояние, контролируемое по появлению рабочей жидкости в контрольных скважинах, суммарному ее расходу и изменению давления в нагнетательной системе.

Опытно-промышленную проверку направленного трещинообразования осуществляли в призабойной части горного массива при проведении главного откаточного квершлага горизонта 950 м шахты им. Ю.А.Гагарина ГХК «Артемуголь».

Главный откаточный квершлаг ( $S_{св}=15,5 \text{ м}^2$ ,  $S_{прох}=21 \text{ м}^2$ ) проводился вкрест простирания пород в юго-западном направлении (азимут  $140^0$ ), пересекая угольные и породные слои, в том числе опасные по возникновению газодинамических явлений. Для промышленных испытаний способа направленного трещинообразования был выбран участок главного откаточного квершлага, проводимого по выбросоопасному песчанику  $K_8Sl_1$ , расположенному между угольными пластами  $K_8$  «Каменка» и  $l_1$  «Мазур», опасными по внезапным выбросам и горным ударам.

В соответствии с разработанной методикой для осуществления способа направленного трещинообразования в призабойной части массива экспериментальных подготовительных выработок выполняли следующий комплекс работ: измеряли исходные напряжения в горном массиве во взаимно ортогональных измерительных скважинах методом локального гидравлического разрыва [2, 3]. В центральной части тупиковой выработки бурили нагнетательную скважину (диаметром 46 мм, длиной  $l=2-4$  м) и 2 контрольных скважины, выходящих (на принятом удалении от груди забоя 3 м) за проектный контур выработки на расстояние не менее 2 м. По нагнетательным скважинам прокладывали трубопровод ( $D = 12$  мм) с закрепленным в торцевой части ограничительным диском, контактирующим с забоем скважины. Затем каждую нагнетательную скважину от ограничи-

тельного диска до устья заполняли герметизирующим составом на цементной основе. После отверждения герметизирующего состава (24 ч) к нагнетательному ставу подключали высоконапорный ручной насос НР-0,1, при помощи которого, повышая избыточное давление до момента гидроразрыва породы, одновременно контролировали качество герметизации. Затем подключали насосную установку МНР-2 (производительностью 50 л/мин, напор до 40 МПа) и осуществляли нагнетание рабочей жидкости, подкрашенной для улучшения визуализации красителем. Процесс нагнетания рабочей жидкости насосной установкой МНР-2 осуществляли плавным увеличением расхода до выхода на стабилизированный уровень давления (20-22 МПа). Время закачки рабочей жидкости в каждую скважину составляло 10-15 мин. Нагнетание жидкости прекращалось после напорного истечения окрашенной жидкости из контрольных скважин. Параметры нагнетания (дебит и напор) контролировали по водомеру и манометру.

После окончания гидрообработки и оценки остаточного напряженного состояния призабойной части горного массива методом локального гидроразрыва приступали к проведению подготовительной выработки буровзрывным способом.

Всего за период проведения шахтных испытаний с использованием способа направленного трещинообразования было пройдено 50 п.м. подготовительных горных выработок, из них 36 п.м. пройдено по выбросоопасному песчанику. Признаков газодинамических явлений в забоях экспериментальных выработок не наблюдалось.

В результате промышленных испытаний установлено, что технология разработанного способа направленного трещинообразования надежна и может выполняться имеющимся на шахтах оборудованием. Инструментально определено, что образование системы трещин, расположенных ортогонально нагнетательным скважинам, приводит к частичной разгрузке и дегазации призабойной части горного массива.

Выполненными измерениями установлено, что в результате деформирования призабойной части горного массива в направлении продольной оси выработки остаточные напряжения значительно снизились и составили в среднем около 70 % от первоначальных. Газовыделение после взрывных работ не превышало 0,05 м<sup>3</sup>/т. Признаков газодинамических явлений при проведении промышленных испытаний не наблюдалось. Проведение выработки после выполнения способа направленного трещинообразования осложнений не вызывало.

Обобщение результатов выполненных экспериментальных исследований гидравлического направленного трещинообразования показало, что областью его эффективного использования являются горные выработки, проводимые по склонным к газодинамическим проявлениям монолитным породам, труднообрушаемая кровля очистных выработок, осуществление подрывки почвы и другие технические мероприятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1286770 (СССР). Способ образования трещин в плоскости, перпендикулярной продольной оси скважины / В.С.Кулинич, В.И.Тейтель, В.Н.Задорожний и др. – Оpubл. в Б.И., 1987, № 4.
2. Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Егоров С.И. Методы и средства определения параметров геомеханического состояния газоносного породного массива. – Донецк: ЦБНТИ, 1994. – 202 с.
3. Кулинич С.В. Оценка напряженного состояния газоносного породного массива // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2000. – Вып. 17. – С. 311-314.

УДК 662.612.322

И.Ф. Чемерис, И.Л. Слободяникова,  
ИГТМ НАН Украины

### **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫГОРАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ПУЛЬСИРУЮЩЕМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ**

*Розглянуто методику розрахунку ефективності вигорання твердого палива при пульсуючій подачі повітря в киплячий шар у порівнянні з постійним розходом за допомогою безрозмірної функції вигорання горючих. Показана перевага спалювання твердого палива шляхом пульсуючої подачі повітря у киплячий шар.*

### **THE METHODS OF DEFINING THE EFFECTIVENESS OF THE BURNING-OUT OF THE SOLID FUEL IN PULSING BOILING LAYER**

*The methods of calculating the effectiveness of the burning-out of a solid fuel during the pulsing air supply into boiling layer are analyzed in comparison with constant consumption with the help of unlimited function of the burning-out of the fuel. The advantages of the solid fuel burning-out through the pulsing air supply into boiling layer are shown.*

Одним из наиболее перспективных путей сжигания твердого топлива в кипящем слое является пульсационная подача оживающего агента (воздуха) в кипящий слой, что подтверждается выполненными ранее исследованиями [1,2,3].

Горение частиц топлива состоит в основном из двух процессов: химической реакции, которая происходит на поверхности или близко к поверхности частицы, и диффузии, с помощью которой газовые реагенты достигают поверхности и отводятся продукты сгорания. Обычно рассматриваются следующие химические реакции [4]