

циклического гидродинамического нагружения горного массива при сбросе давления жидкости возникает волна напряжения на контактах «угольный пласт – вмещающие породы», обусловленное образованием вторичной пористости и скоростью нагружения.

Установленное явление раскрывает условия и механизм процесса разрушения напряженного, пористого, газонасыщенного угольного пласта после образования дополнительных полостей обнажения при циклическом гидродинамическом воздействии, что в практическом плане позволяет управлять процессом разрушения при ведении горных работ в различных горнотехнических и горно-геологических условиях, а так же разработать высокоэффективные, ресурсосберегающие средства и технологии, исключающие возникновение экстремальных ситуаций при ведении горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление свойствами и состоянием угольных пластов с целью борьбы с основными опасностями в шахтах. // Цикл научных исследований (1962-1980 г.г.) – М.: Наука, 1981. – 333 с.
2. Научное открытие «Закономерность разрушения пористых газонасыщенных тел при циклическом гидродинамическом воздействии» (диплом № 123) / К.К. Софийский, Е.Г. Барадудин, Э.И. Мучник, Е.А. Воробьев, В.Г. Александров // Сб. научн. отр. – М., Санкт-Петербург, 2000. – 128 с.
3. Научное открытие «Явление спонтанного разрушения напряженного пористого газонасыщенного массива» (диплом № 184) /Е.Г. Барадудин, Е.А. Воробьев, Д.М. Житленок, В.Н. Жмыхов, К.К. Софийский и др. // Сб. научн. отр. М., 2002. – 128 с.
4. Теория защитных пластов / И.М. Петухов, А.П. Линьков, В.С. Сидоров, И.А. Фельдман. – М.: Недра, 1976. – 223 с.

УДК 622.272.63:622.831.325

К.К. Софийский, Е.Г. Барадудин,
В.Н. Жмыхов, Е.А. Воробьев,
Б.В. Бокий, В.Г. Васильев

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НАПРЯЖЕННЫЙ ГАЗОНАСЫЩЕННЫЙ ГОРНЫЙ МАССИВ

В результаті аналітичних, лабораторних і промислових досліджень руйнування пористих газонасичених тіл розроблено спосіб гідродинамічного впливу на гірський масив, схильний до газодинамічних проявів, що дозволяє концептуально змінити підхід до рішення питань, зв'язаних з високою газоносністю вугілля і порід, а також підвищенням гірським тиском.

HYDRODYNAMICAL INFLUENCE ON THE INTENSE GAS-SATURATED ROCK MASSIF

As a result of analytical, laboratory and industrial researches of destruction of porous gas-saturated bodies the way of hydrodynamical influence on a massif inclined to gas-dynamical displays which conceptually allows to change the approach to the decision of the questions connected to high gas-contained of coal and breeds, and also is developed by the increased rock pressure.

Угольные пласты месторождений Украины отрабатываются на глубинах более 1000 м в сложных горно-геологических условиях с высокой газоносностью угля и вмещающих пород. Эти природные факторы в сочетании с технологическими обуславливают чрезвычайно сложные и опасные для жизни шахтеров условия труда. С 1998 года в Донбассе произошло 15 крупнейших

аварий, большинство, из которых связаны с газодинамическими явлениями, в результате которых погибло более 200 человек и несколько сотен стали инвалидами.

Из предусмотренных действующей «Инструкцией по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа» способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа с 1977 года применяются только опережающая отработка защитных пластов и гидрорыхление. Однако, за период с 1990 года по 2000 год в забоях, где применялось гидрорыхление, произошло 28 внезапных выбросов угля и газа, из них 8 в процессе выполнения гидрорыхления.

ИГТМ НАН Украины разработан экологически чистый, высокоэффективный способ гидродинамического воздействия на газонасыщенный, напряженный горный массив, основанный на динамическом воздействии рабочей жидкостью через герметически закрытую скважину на обрабатываемый объект [1]. Работы по созданию способа были начаты в 1975 году. В результате анализа литературы на тот период было установлено, что наиболее близко подошли к созданию таких способов МакНИИ, ДПИ и ИПКОН. В работах МакНИИ [2] была высказана идея использования энергии горного массива и давления газа при динамическом воздействии на него и на основе её разработаны способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа с использованием гидроотжима угля [3] и гидровывывания угля [4] из пласта. ДПИ был предложен, запатентован [5] и испытан [6] способ разработки весьма тонких крутых угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа. Работами ИПКОН [7] была исследована динамика и установлены закономерности изменения фильтрационных параметров угольных пластов в зонах влияния горных выработок.

На основе этих исследований нами было установлено, что основными факторами, снимающими выбросоопасность угольного массива является разгрузка участка угольного пласта от горного давления путем извлечения части угля из него и создания дополнительной пористости в угольном массиве, обеспечивающей эффективную дегазацию обрабатываемой зоны.

Технология, обеспечивающая решение этих задач, впервые была предложена и запатентована [8] ИГТМ и заключалась в бурении скважины на угольный пласт, её герметизации и оборудовании затвором, подачи рабочего агента под давлением, приведении пласта в выбросоопасное состояние и резком сбросе давления затвором. В дальнейшем в качестве рабочего агента, воздействующего на выбросоопасный угольный пласт, было предложено использовать воду [9].

По результатам аналитических и лабораторных работ [1] разработан способ вскрытия выбросоопасного угольного пласта квершлагом с применением гидродинамического воздействия [10] и были проведены широкие промышленные испытания его на шахтах Центрального района Донбасса и разработано «Руководство...» по его применению, а также «Руководство по дегазации и

снижению выбросоопасности в нижней части полос, обрабатываемых щитовыми агрегатами».

Анализ теоретических, лабораторных и промышленных исследований позволил установить закономерность разрушения пористых газонасыщенных тел при циклическом гидродинамическом воздействии, заключающуюся в том, что при подаче рабочей жидкости в фильтрационном режиме в поры приконтурной области пористого газонасыщенного тела, например, угольного массива, и последующем резком сбросе давления, во времени существенно меньшем времени обратной фильтрации, возникает разрушающий градиент давления, вызывающий деформации растяжения, и при превышении предела прочности тела на разрыв в зоне гидродинамического воздействия происходит последовательное послойное разрушение пористого газонасыщенного тела. Установленная закономерность признана научным открытием в области горной науки (диплом № 123).

Дальнейшими исследованиями было установлено явление спонтанного разрушения напряженного пористого газонасыщенного массива после технологического отделения слоя приконтурной разгруженной зоны циклическим гидродинамическим нагружением, заключающееся в том что, после указанного технологического процесса, в горном массиве генерируется фронтальное развитие вторичной пористости от свободной поверхности внутрь массива со спонтанным его разрушением, обусловленным освобождением его внутренней энергии и превышением скорости перемещения фронта образования вторичной пористости над скоростью процесса фильтрации газа (научное открытие диплом № 184). При этом происходит отрыв и вынос частиц тела без внешних воздействий до тех пор, пока не нарушатся условия роста скоростей или же не возникнет подпор в скважине разрушенной газоугольной смесью.

Таким образом, установлено, что гидродинамическое воздействие на напряженный газонасыщенный горный массив через скважину это сложный механизм, функционирующий поэтапно.

Первый этап – подготовительный и включает бурение технологической скважины и её герметизацию.

Второй этап – разрушение угля в приконтурной разгруженной зоне вокруг технологической скважины. На этом этапе при подаче жидкости в пласт, она движется по трещинам в фильтрационном режиме и структура пласта не нарушается, а при сбросе давления жидкости в скважине, она осуществляет обратную фильтрацию по линиям наименьшего сопротивления, по трещинам, которые раскрываются, и происходит послойный отрыв частиц угля.

Третий этап – спонтанное разрушение напряженного пористого газонасыщенного массива с управлением процесса гидродинамической системой. При подаче жидкости под давлением она заполняет свободное пространство по линиям наименьшего сопротивления и движется по поверхностям смачивания. Угольный пласт при этом подпирается давлением воды, а процесс разрушения угля тормозится. При сбросе давления воды в скважине, она свободно выходит по линиям наименьшего сопротивления, а в пласте инициируется спонтанное разрушение угля.

Четвертый этап – интенсификация дегазации обрабатываемой зоны угольного массива с управлением процессом гидродинамической системой. При подаче жидкости под давлением заполняется свободное пространство, тормозится разрушение пласта и скорость фильтрации газа, при сбросе давления воды в скважине происходит свободное истечение её по линиям наименьшего сопротивления, а в пласте инициируется разрушение угля за счет динамической пригрузки и увеличивается скорость фильтрации газа.

Первые три этапа исследования, разработаны технологические решения в виде нормативных руководств применения способа гидродинамического воздействия. По четвертому этапу проведены аналитические исследования [1], которые показали, что при сбросе давления жидкости в скважине и в трещиновато-поровом пространстве обрабатываемой зоны волна напряжений, возникающая на контактах угольный пласт – кровля и угольный пласт – почва, создает динамическую пригрузку, соизмеримую с горным давлением, которая инициирует вторичную пористость не только в угольном пласте, но и породах кровли и почвы, а, следовательно, и интенсифицирует газовыделение из них.

Проведенные исследования позволили сформулировать механизм циклического гидродинамического воздействия на пористые, напряженные, газонасыщенные среды жидкостью, который представляет собой – на начальном этапе – хрупкое послойное разрушение тела в прискважинной разгруженной области под влиянием градиента давления, достаточного для разрушения, и вынос разрушенного материала из скважины при сбросе давления, а после достижения фронта разрушения зоны нетронутого массива, хрупкое послойное разрушение переходит в спонтанный процесс, обусловленный превышением скорости перемещения фронта образования вторичной пористости над скоростью процесса фильтрации газа. При этом происходит отрыв и вынос частиц тела без внешних воздействий до тех пор, пока не нарушатся условия роста скоростей фронта образования вторичной пористости и процесса фильтрации газа. После затухания процесса спонтанного разрушения, хрупкое послойное разрушение тела при сбросе давления жидкости в скважине происходит за счет возникновение циклической динамической пригрузки на разрушаемую среду, обусловленной образованием вторичной пористости и скоростью создаваемой пригрузки. Формирование приращения зоны вторичной пористости (разрушения) при этом с каждым циклом воздействия увеличивается, так как увеличивается её объем.

Экспериментальные работы по интенсификации дегазации отработываемого угольного пласта гидродинамическим воздействием проводятся в Донбассе на шахте им. Засядько. Из специальных ниш на $10^{\text{м}}$ конвейерном штреке пласта l_1 горизонта 1070 м через 10-метровую породную пробку на пласт пробурено и обработано 5 технологических скважин длиной от 36 до 100 м. Инструментальными измерениями получены результаты, которые показали, что за период с августа 2001 г. по май 2002 года дегазация на участках ПК-15, ПК-37, ПК-42, ПК-46 и ПК-53 составила от 28 до 70 %, а расслоения в породах кровли достигали более 20 м.

По результатам экспериментальных работ разработан нормативный документ «Временное руководство по интенсификации дегазации гидродинамическим воздействием обрабатываемых угольных пластов».

Работы по интенсификации дегазации гидродинамическим воздействием обрабатываемого угольного пласта включают в себя бурение технологических и дегазационных скважин поочередно на расстоянии 25 м друг от друга.

Для бурения технологической скважины в подготовительной выработке сооружается ниша, из которой через породную пробку длиной не менее 10 м на угольный пласт бурится скважина диаметром 59 мм. По достижении проектной длины скважины, ее разбуривают до диаметра 110 мм. После этого породная часть скважины разбуривается до 150 мм, обсаживается на всю длину стальной трубой диаметром 102 - 114 мм, производится её герметизация и монтаж устройства гидродинамического воздействия.

Дегазационные скважины бурятся диаметром 76 мм на проектную длину из подготовительной выработки по угольному пласту параллельно технологическим скважинам и подключаются к дегазационной системе.

Гидродинамическое воздействие через технологические скважины осуществляется по вышеприведенному механизму без выпуска газа из них в атмосферу выработки при сбросе давления воды в скважине. Газ из массива во время воздействия отводится через дегазационные скважины, а после его проведения технологические скважины так же подключаются к дегазационной системе.

Таким образом, проведенный цикл работ позволяет решать комплекс задач при разработке угольных месторождений на больших глубинах с высокой газоносностью угля и пород:

1. Предотвращение выбросов при вскрытии выбросоопасных угольных пластов;
2. Проведение подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам;
3. Дегазацию и снижение выбросоопасности в щитовых лавах;
4. Интенсификацию дегазации обрабатываемого угольного пласта;
5. Добычу метана из угольных пластов [11].

Решение этих задач с применением гидродинамического воздействия при разработке угольных месторождений в экспериментальных условиях позволит:

- избежать катастрофических ситуаций и тем самым повысить безопасность работы шахтеров, а также существенно снизить психологическую нагрузку на них;
- улучшить экологическую ситуацию в шахтерских регионах;
- концептуально изменить подход к решению вопросов, связанных с высокой газоносностью угля, пород и горного давления;
- снять ограничения нагрузки на лаву по газовому фактору;
- повысить темпы проведения подготовительных выработок;
- существенно снизить себестоимость добычи угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Софийский К.К., Калфакчян А.П., Воробьев Е.А. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля. – М.: Недра, 1994. – 192 с.

2. Бобров И.В., Кричевский Р.М. Борьба с внезапными выбросами угля и газа. К.: Техника 1964—134 с.
3. Бобров И.В., Шатилов Е.А. Применение гидростатического призабойной зоны угольного пласта как способа борьбы с внезапными выбросами угля и газа // В сб. «Вопросы безопасности в угольных шахтах». Труды МакНИИ, вып. 17. - М.: Недр, 1965, - С. 164-181.
4. Кульбачный А.М., Печук И.М. Перспективы борьбы с внезапными выбросами угля и газа регулируемым пульсирующим размывом внутри угольного массива // Сб. науч. тр. МакНИИ. - М.: Недр, 1959. - № 11. - С. 62-69.
5. А.С. № 501162, СССР Е 21 С 41/04, Способ разработки весьма тонких крутых угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа. / Д.В. Дорохов и др. (СССР). Приор. 05.03.74. Оpubл. 30.01.76. Бюл. № 3.
6. Дорохов Д.В., Зборщик М.П., Сапицкий К.Д. О возможности газодинамического способа добычи угля в глубоких шахтах. // Уголь Украины – 1976. - № 6. - С. 5-8.
7. Айруни А.Т. Газовая динамика и закономерности изменения фильтрационных параметров угольных пластов в зонах влияния горных выработок // В сб. Проблемы современной рудничной аэрологии. - М.: Недр, 1974. - С. 117-129.
8. А.С. № 617598, СССР Е 21 С 41/04. Способ выемки угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа. / Е.Г. Баратулин и др. (СССР). Приор. 29.03.77. Оpubл. 30.07.78. Бюл. № 28.
9. А.С. 3 920213 СССР, МКИ Е 21 С 41/04. Способ выемки угольных пластов / А.Т. Диденко и др. (СССР). - Приор. 15.01.80. Оpubл. 15.04.82. Бюл. № 14.
10. А.С. № 1151686 СССР, МКИ Е 21 F 5/00. Способ вскрытия выбросоопасного угольного пласта квершлагом / А.Ф. Папырин, К.К. Софийский, Э.И. Мучник и др. (СССР). - Приор. 05.08.83. Оpubл. 23.04.85. Бюл. № 15.
11. Софийский К.К., Баратулин Е.Г., Александров В.Г., Воробьев Е.А. Способ добычи метана из угольных пластов //Сб. науч. тр. НГА Украины: Проблемы аэрологии горнодобывающих предприятий. - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. - № 5. - С. 128-131.

УДК 537. 528

Л.М. Дыхта, О.Н. Сизоненко

К ТЕОРИИ РАСШИРЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО КАНАЛА ПОДВОДНОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА НА АКТИВНОЙ СТАДИИ

В рамках приближения Кірквуда-Бете розглядається задача про розширення каналу підводного іскрового розряду (ПІР) в випадку сферичної симетрії течії протягом часу, що відповідає введеному в канал електричної енергії і відомого під назвою активної стадії. При цьому весь діапазон можливих значень чисел Маха $0 \leq M < \infty$ з метою встановлення простих і достатньо точних аналітичних співвідношень підрозділено на два піддіапазони $0 \leq M \leq 1$ і $M > 1$; шляхом порівняння отриманих в роботі результатів з відомими в літературі даними показано, що встановлені асимптотичні формули, які є чинні при $M \rightarrow 0$ і $M \rightarrow \infty$ задовільно описують процес розширення каналу ПІР при всіх значеннях числа M .

TO THE THEORY OF EXPANSION OF THE SPHERICAL CHANNEL OF THE UNDERWATER SPARK DISCHARGE AT THE ACTIVE STAGE

Within the framework of approximation Kirckwood-Bete the task about expansion of the channel of the underwater spark discharge (USD) is considered in case of spherical symmetry of current during time which corresponds to introduction in the channel of electric energy and known under the name of an active stage. Thus all range of possible values of numbers of the Mach $0 \leq M < \infty$ with the purpose of an establishment simple and enough exact analytical parities are divided into two ranges $0 \leq M \leq 1$ and $M > 1$; by comparison of the results received in work with the known data in the literature it is shown, that established asymptotical formulas which operate at $M \rightarrow 0$ and $M \rightarrow \infty$ satisfactorily describe process of expansion of the channel the USD at all values of number M .

1. **Основные уравнения задачи.** Для придания излагаемому материалу известной автономности приведем здесь заимствованную из работ [1,3] систему