

ЯВЛЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРИГРУЗКИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

В результаті теоретичних та шахтних досліджень встановлено явище виникнення циклічного динамічного привантаження вугільного пласта при гідродинамічній дії на гірський масив, що дозволило розробити нові технологічні рішення, які виключають виникнення екстремальних ситуацій та значно поліпшують економічні показники при проведенні гірничих робіт на шахтах.

THE PHENOMENON OF OCCURRENCE CYCLIC DYNAMIC LOADING OF THE COAL LAYER

As a result of theoretical and mine researches the phenomenon of occurrence of cyclic dynamic loading of a coal layer is established at hydrodynamical action on a hills that allows to develop new technological decisions which exclude occurrence of extreme situations and considerably improve economic parameters at realization of rock works on mines.

Ранее [1] были изучены закономерности деформирования горного массива при направленных изменениях его состояния различными силовыми воздействиями, приводящими к созданию дополнительной трещиноватости. При таких воздействиях изменяется напряженное состояние массива в зоне обработки только за счет его равномерного перераспределения. Поэтому, применение на практике этих воздействий оказалось малоэффективным, а необходимая степень изменения состояния угольного пласта достигается многостадийным воздействием на основе применения различных комбинаций способов. Однако и многостадийное воздействие зачастую не эффективно, так как горный массив постоянно находится под влиянием волновых процессов, связанных с производственной деятельностью и геотектоническими процессами, поэтому появляются новые зоны повышенного горного давления или же восстанавливаются старые.

В ИГТМ НАН Украины разработан принципиально новый, нетрадиционный, способ циклического гидродинамического воздействия на горный массив жидкостью через скважины, пробуренные на угольный пласт. Отличительной особенностью этого способа является то, что в результате воздействия напряженное состояние горного массива в зоне воздействия снижается не только за счет перераспределения напряжений, а и за счет использования энергии горного массива на разрушение угля и вынос его по скважине в выработку, а так же и на расслоение пород кровли и почвы угольного пласта.

Механизм циклического гидродинамического воздействия на напряженный пористый газонасыщенный массив водой через скважину представляет собой хрупкое послойное разрушение угля. На первом этапе воздействия, когда разрушается разгруженная прискважинная зона, послойное разрушение угля происходит за счет градиента давления рабочей жидкости при сбросе [2]. На втором этапе, когда волна разрушения достигает нетронутого массива,

происходит спонтанное послойное разрушение угля за счет энергии горного массива, а гидродинамической системой идет только управление процессом [3]. На третьем этапе, когда спонтанное разрушение угля затухает и образуется значительная дополнительная пористость угля в обрабатываемой зоне, послойное разрушение угля происходит за счет возникновения циклической динамической пригрузки угольного пласта, создаваемой волной напряжения на контактах «угольный пласт – вмещающие породы» при сбросе давления жидкости в скважине и обусловленной образованием вторичной пористости и скоростью нагружения.

Анализ литературы, касающейся разрушения напряженных пористых газонасыщенных тел показывает, что зависимость роста динамических характеристик от увеличения степени разрушения объекта при воздействии на него динамическими нагрузками не исследовалась.

Для оценки энергии пород, в случае, когда разрушение охватывает часть площади ΔS почвы выработки, имеет место выражение [4]

$$\omega_n \approx \frac{1-\nu_1^2}{E_1} \int_{\Delta S} \left(k_I^2 + k_{II}^2 + \frac{1}{1-\nu_1} k_{III}^2 \right) dl dp,$$

где ν_1 , E_1 - соответственно коэффициент Пуассона и модуль упругости вмещающих пород; k_I , k_{II} , k_{III} , - коэффициенты интенсивности напряжений; dp - дифференциал разрушенной части выработки; dl - дифференциал глубины, на которую распространяется разрушение.

Для условий плоской деформации при малом влиянии касательных напряжений в расчете на единицу периметра изолированной выработки имеем

$$\omega_n = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} k_2 \Delta l.$$

Необходимо здесь же учесть энергию, приобретаемую пластом при ударообразных сближениях почвы и кровли. По данным ВНИМИ [4] сближения убывают с удалением от поверхности забоя по экспоненциальной зависимости

$$\Delta l = \Delta m e^{-al},$$

где Δm - сближение на поверхности пласта, см; a - эмпирический коэффициент; l - расстояние от поверхности забоя, см.

Тогда

$$\omega_n' = \frac{\omega \cdot S}{2E} \left(\frac{E \Delta m}{\omega m} e^{-al} + k \nu e^{\nu l} \right)^2,$$

где E - модуль упругости, Па; k - коэффициент сцепления для угля, Па; ν , φ - показатели, зависящие от механических свойств пласта; $\omega = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}$, μ - коэффициент Пуассона; S - площадь блока; $см^2$; m - мощность пласта, см.

Расчеты, проведенные по вышеприведенным формулам, показывают, что энергия в зоне концентрации напряжений с учетом сближения почвы и кровли возрастает незначительно, примерно на 6 %. На поверхности забоя запас энергии при отсутствии сближения составляет $1,65 \cdot 10^{-2}$ МПа, а после ударообразных сближений $-4,2 \cdot 10^{-2}$ МПа, т.е. возрастает почти в 3 раза.

Сброс давления жидкости при гидродинамическом воздействии приводит к действию динамической нагрузки на кровлю и почву пласта по плоскостям обнажений в угольном пласте, образовавшимся в результате воздействия на горный массив.

В связи с этим решена задача о напряженном состоянии пород и угольного пласта вблизи полости при воздействии на кровлю и почву динамических нагрузок, изменяющихся по произвольному закону.

Расчетная схема принималась в виде двух однородных изотропных полуплоскостей, между которыми располагаются две полубесконечные полосы толщиной $2h$.

К границам полуплоскостей приложена динамическая нагрузка $P(x, t)$. Решение задачи осуществлялось методами динамической теории упругости и сводится к нахождению дополнительных нормальных и касательных напряжений σ_y и τ_{xy} на контактах слоя с полуплоскостями.

В результате решения задачи получена формула, по которой составлена программа вычислений напряжений $\sigma_{(x,b,t)}$ на контакте «угольный пласт – боковые породы»

$$R(z-x, t-\tau) = -\frac{\sqrt{\eta^2 - \beta_1^2}}{F(\eta_2)} \ln \left| -\frac{(t-\tau)^2}{(z-x)^2 \eta_1^2} \right| + \frac{1}{\pi} \int_0^{\beta_1} \frac{\sqrt{\eta^2 - \beta_1^2}}{F(\eta)} \ln \left| -\frac{(t-\tau)^2}{(z-x)^2 \eta^2} \right| d\eta + \\ + \frac{4}{\pi} \int_{\beta_1}^1 \frac{\eta^2 (\eta^2 - \beta_1^2) \sqrt{1-\eta^2}}{F(\eta) \eta} \ln \left| -\frac{(t-\tau)^2}{(z-x)^2 \eta^2} \right| d\eta,$$

где η_1 - действительный корень уравнения $F(\eta) = 0$; $k_1 = E/h$ - коэффициент постели упругого основания; η - параметр интегрирования.

Величины напряжений σ_y и τ_{xy} на контакте «угольный пласт – боковые породы» определялись численными методами по программе вычислений.

Таким образом, получен способ определения изменяющихся во времени напряжений $\sigma_y(x, b, t)$ и $\tau_{xy}(x, b, t)$ на контакте «угольный пласт – боковые породы» для любых функций воздействия $P(x, t)$ на кровлю и почву выработки.

Значения напряжений на контакте «пласт – породы» в дальнейшем позволят определять перемещения и напряжения во внутренних точках пласта и пород.

Для установления основных закономерностей изменения напряженного состояния в окрестности выработанной полости при воздействии сброса давления жидкости на угольный пласт через вмещающие породы были рассмотрены функции воздействия $P(x, t)$ в виде одиночного импульса длительностью T .

В случае импульса имеем

$$P(x, t) = P[H(t) - H(t - T)], |x| < a$$

где P – амплитуда импульса; $H(t)$ – функция Хевисайда.

Расчеты проводились при следующих условиях: $P = 15$ МПа; $L = 1,4$ м – длина пластической зоны; $d = 3,5$ м; $h = 1$ м; $v = 0,25$ м; $E_{ст}/E_{пор} = 0,5$ – отношение модулей Юнга пласта и пород; $\rho = 2400$ кг/м³ – плотность пород.

Статическое напряженное состояние призабойной части угольного пласта моделировалось путем специального задания коэффициента постели $k = E/h$.

Анализ результатов решения задачи о поведении кровли и почвы при гидродинамическом воздействии показывает, что возникающие динамические пригрузки (1-5 МПа·с) соразмерны с величинами напряжений, образующихся от технологического воздействия при традиционных способах добычи угля, а скорости нагружения пласта (10-100 МПа) соразмерны с критическими скоростями, достаточными для его разрушения.

Таким образом, при сбросе давления жидкости волна напряжений, возникающая на контактах угольный пласт – породы, создает динамическую пригрузку, соразмерную по величине с напряжениями, возникающими в процессе механического воздействия на угольный пласт при традиционных способах его выемки.

Для исследования всего комплекса процессов, протекающих в массиве при циклическом гидродинамическом нагружении угольного массива, проведен большой объем шахтных экспериментальных исследований.

В процессе проведения промышленных испытаний проводились инструментальные измерения по изучению напряженно-деформированного состояния угольных пластов в зоне влияния гидродинамического воздействия. Исследования напряженно-деформированного состояния угольного массива производились с применением метода буровых скважин. Измерительное регистрирующее устройство состояло из деформометров ДП-8, соединительных проводов и тензометрической станции ИИД-3.

Исследования проводились в подготовительных выработках пласта l_3 – «Мазурка», l_4^H – «Девятка» ш. Комсомолец и m_3 – «Толстый» шахты им. Калинина ПО «Артемуголь» перед их вскрытием. Замерные станции состояли из 3-х скважин, пробуренных через породную пробку на угольный пласт, в которые устанавливались деформометры в угольном пласте. До начала работ по гидродинамическому воздействию 4-6 раз в сутки осуществлялись тензометрические измерения деформаций в угольном пласте, а в процессе гидродинамического воздействия на угольный пласт – через каждые 10 мин.

Анализ результатов исследований показывает, что характер деформаций во всех случаях и на всех скважинах одинаков. После установки деформометров от 15 до 40 часов происходит постепенное сжатие прискважинной части массива на величину относительных деформаций $(10,9-12,1) \cdot 10^{-4}$. Затем деформации стабилизируются. При гидродинамическом воздействии на угольный пласт спустя 1-2 ч, а с учетом непроизводительных затрат времени – 3-4 ч, происходит резкое растяжение угольного пласта до $(2-3) \cdot 10^{-4}$. Это позволяет утверждать, что при образовании определенного объема вторичной пористости во время гидродинамического воздействия динамические нагрузки на пороодо-угольный массив возрастают.

Для изучения состояния массива параллельно проводился сейсмоакустический контроль интенсивности процессов разрушения угольного пласта.

Регистрация акустической эмиссии выполнялась с помощью звукоулавливающей аппаратуры ЗУА-4. Сейсмоприемник при гидродинамическом воздействии на пласты устанавливался в шпур, пробуренный горизонтально из забоя выработки на глубину 1 м. Акустическое сопровождение циклов воздействия состояло преимущественно из звуковых образов, соответствующих работе насосной установки, импульсам акустической эмиссии, динамическим явлениям. Обработка материалов регистрации выполнена с помощью акустического комплекса АК-21, измерительно-вычислительного комплекса на базе ЭВМ и шлейфового осциллографа НО-11.

В процессе гидродинамического воздействия на угольно-породный массив (17 циклов «подача-сброс») зарегистрирован 71 импульс акустической эмиссии.

Анализ результатов исследований показал, что по мере образования разрушенной области частота импульсов падает, а их амплитуда растет, что свидетельствует о росте величины динамической нагрузки на породно-угольный массив.

Сейсмоакустические исследования процесса гидродинамического воздействия при проведении экспериментальных работ по интенсификации дегазации гидродинамическим воздействием обрабатываемого угольного пласта l_1 на шахте им. А.Ф. Засядько показали - при увеличении пористости угольного пласта в процессе воздействия в 2 раза, что соответствует выдаче из скважины длиной 60-80 м по углю при мощности пласта 1,8 м - 10-15 т угля, амплитуда расслоения пород кровли возрастает в 2 раза и в дальнейшем резко увеличивается в 3,5 раза.

Результаты экспериментальных исследований позволили сделать вывод, что по достижении в прискважинной зоне разрушенной или разупрочненной области длины волны большей, чем длина волны основного тона собственной системы «угольный пласт – вмещающие породы» проявляются эффекты, связанные со сближением вмещающих пород, представляющие дополнительные разрушающие усилия.

Таким образом установлено явление возникновения циклической динамической пригрузки угольного пласта, соизмеримой по величине с напряжениями, возникающими в процессе механического воздействия на угольный пласт при традиционных способах его выемки, заключающееся в том, что в процессе

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. отк. – 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. отк. 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