

УДК: 622.273.01

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА И ПРИЧИНЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ШАХТЕ ИМ. А.Г. СТАХАНОВА

к.т.н. Лобков Н.И. (ИФГП НАН Украины), к.т.н. Рязанцев Н.А. (ГП "Красноармейскуголь"), инж. Рязанцева Н.А., инж. Бачурин Л.Л. (КИИ ДонНТУ)

Проведено оцінку пружного стану гірничого масиву в районі 2 лави центрального бремсбергу пласта I₁. Показано, що динамічні явища в лаві №2 могли відбутися в результаті структурно-фазових переходів води та вугільної речовини в разі дії високого тиску.

ESTIMATION OF THE INTENSE CONDITION OF THE MINING MASSIVE AND THE REASONS OF DISPLAY OF THE GEODYNAMIC PHENOMENA ON MINE IT. A.G.STAKHANOV

Lobkov N.I., Ryazantcev N.A., Ryazantceva N.A., Bathurin L.L.

The estimation of an intense condition of a mining massive in area of 2 lavas central bremberg a layer I₁ is made. It is shown, that the dynamic phenomena in a lava №2 could be result of structural - phase transitions of water and coal substance under action of a high pressure.

Целью исследований является изучение причин возникновения и условий протекания геодинамических явлений.

Методы исследований – шахтные наблюдения и анализ литературных источников.

В результате исследований проведен анализ условий возникновения геодинамических явлений во второй лаве центрального бремсберга шахты им. А.Г. Стаханова и показано, что причиной этих явлений могли быть структурно-фазовые переходы воды и угольного вещества под действием высоких давлений порядка 200-220 МПа

В 2003 году при отработке 2-й лавы центрального бремсберга пласта I₁ шахты им. А.Г. Стаханова произошло несколько аномальных геодинамических явлений (АГДЯ), механизм и причины, которых комиссией по расследованию до конца не выяснены. Все явления сопровождалось направленным энерго- и массопереносом из глубины массива в призабойное пространство без повышенного газовыделения. Характерным признаком явилось наличие «испарины» (капелек воды в кровле), повышенная влажность выброшенного штыва и наличие мелкодисперсной пыли бурого цвета в призабойном пространстве и по плоскостям скольжения. Отмечается также наличие трубообразных и грушеобразных полостей в угольном пласте.

Вполне очевидно, что основным фактором, вызвавшим указанные явления, следует считать горное давление. Учитывая, что глубина ведения

работ не превышает 900 м, вызывает определенный научный и практический интерес оценка напряженного состояния в горном массиве на участке возникновения АГДЯ и попытка объяснения их возникновения.

Горно-геологическая характеристика участка

2-я лава центрального бремсберга пласта l_1 расположена в блоке №2-3 шахты им. А.Г. Стаханова. Пласт l_1 имеет двухпачечное строение, верхняя и нижняя пачка разделены прослоем глинистого сланца 0,03-0,06 м. Мощность верхней пачки угля 0,87-0,9 м, нижней 0,2-0,24 м. Угол падения пласта 9° . Марка угля «Г». Выход летучих колеблется от 30 до 37,5%, толщина пластического слоя – от 11 до 18 мм. Средняя по пласту величина комплексного показателя выбросоопасности M , при выходе летучих 35,8% и толщине пластического слоя 13 мм, составляет 27,28. Природная газоносность пласта 5-10 м³/т с.б.м.

Согласно заключению МакНИИ от 28.10.91 г. №11/10418 пласт l_1 с изогазы 8 м³/т с.б.м и с глубины 400 м должен обрабатываться, как угрожаемый с ведением прогноза выбросоопасности. Учитывая, что в блоке №2-3 до изогипсы 850 м природная газоносность не превышает 8 м³/т с.б.м., а прогнозные показатели локального и текущего прогноза не достигают критических значений, решением Центральной комиссии по борьбе с газодинамическими явлениями на шахтах угольной промышленности Украины от 2.06.93 г. пласт l_1 до изогипсы 850 м по падению, а по простиранию между Центральным сбросом и конвейерным ходком пласта l_1 определен как невыбросоопасен, а горные работы производятся без применения прогноза выбросоопасности.

Непосредственно в кровле пласта l_1 залегает глинистый сланец мощностью от 0 до 3 м, темно-серый, слоистый, с послойными плоскостями скольжения. Коэффициент крепости $f=3-4$, неустойчивый B_2 , склонный к обрушению до контакта с вышележащим песчаником. Нижний слой сланца мощностью 0,2 м перемятый, весьма неустойчивый B_1 , «ложная кровля». Контакт глинистого сланца с вышележащим песчаником четкий, по волнистой поверхности, сцепление слабое.

Основная кровля пласта – песчаник $l_1 \setminus l_1$ мощностью от 25 до 38,7 м, светло-серый, мелкозернистый, кварцполевошпатовый, слюдястый, коэффициент крепости $f=7-9$, устойчивый B_3 , категория по обрушаемости A_3 , выбросоопасный. Выше пласта l_3 (междупластье $l_1 \setminus l_3$ 38-40 м) залегает ещё один слой песчаника $l_1 \setminus l_5$ мощностью 12-24 м.

Непосредственная почва пласта – сланец глинистый комковатой текстуры «кучерявчик», склонный к пучению, мощностью от 0 до 1 м, коэффициент крепости $f=3$, весьма неустойчивый $П_1$. Контакт сланца с угольным пластом четкий, с нижележащим песчаником – постепенный.

Песчаник основной почвы $L_1 \setminus l_1$ мощностью 27-32,6 м, выбросоопасный, коэффициент крепости 7-9.

В пределах блока №2-3 наблюдается выклинивание непосредственной кровли и почвы и приближение песчаников к пласту.

Почти по всей площади шахтного поля пласт l_1 надработан пластом l_3 , лишь над панелью центрального бремсберга пласта l_1 из-за малой мощности и размыва пласт l_3 не отработан.

На вышерасположенном пласте l_7 (расстояние от l_1 до l_7 153 м) шахтой им. Г.М. Димитрова в районе центрального бремсберга оставлен целик шириной 200-215 м. От его краевых частей на пласте l_1 создаются зоны ПГД, отнесенные по степени влияния на пласт l_1 к III категории.

В связи с выше изложенным пласт l_1 в пределах панели центрального бремсберга разрабатывается как одиночный, влиянием горных работ пластов l_3 и l_7 на ведение горных работ по пласту l_1 пренебрегается.

Горнотехническая характеристика участка

В 1992-1994 гг. в пределах центрального бремсберга пласта l_1 отработана по столбовой системе разработки 1-я лава длиной 150 м. При отработке этой лавы косвенным методом (по ухудшению состояния кровли и спадку суточной нагрузки на очистной забой) установлены три характерных шага обрушения кровли: 18, 35 и 52 м, следующих друг за другом. Лава отработывалась обратным ходом от границ панели к бремсбергу. Суточная нагрузка на лаву колебалась от 150 до 1620 т/сут. Лава пересекла ряд зон приближения песчаников, однако никаких внезапных осадок песчаника кровли или других динамических явлений при подготовке и отработке лавы не наблюдалось.

В феврале 1998 года, по сплошной системе разработки с опережающим конвейерным штреком и проведением вентиляционного штрека вслед за лавой вприсечку к 1-му конвейерному штреку, начата отработка 2-й лавы. Ширина целика между 1-м конвейерным и 2-м вентиляционным штреком колебалась от 0 до 5 м. Длина лавы – 300 м. Лава оборудована механизированной крепью высокого сопротивления 1МТ с комбайном 1К101У и конвейером СПЦ-261. Выемка ниш осуществлялась отбойными молотками, проведение штреков – с помощью БВР. Геологическая мощность пласта 1,11-1,2 м, вынимаемая – 1,3 м. Глубина расположения вентиляционного штрека – 870 м, конвейерного – 913 м.

При проведении конвейерного штрека в начале отработки лавы, при приближении песчаника кровли к пласту произошел ряд выбросов песчаника интенсивностью от 50 до 150 м³. В очистном забое никаких динамических явлений не наблюдалось. В песчанике кровли время от времени прогнозом обнаруживались опасные зоны, однако, при проведении вентиляционного штрека и снятии секции крепи с жесткой базы при недостаточной мощности с помощью БВР, динамики не наблюдалось.

К июню 2001 года лава отошла от бремсберга на расстояние 610 м и была остановлена на ремонт комплекса из-за физического износа секций крепи по причине неоднократной посадки на «жесткую базу» и ведения БВР над и под секциями.

В декабре 2002 года работа лавы была возобновлена и на 28.02.03 г. она отошла от места остановки на 52 м (шаг посадки основной кровли).

В верхней части 2-й лавы центрального бремсберга пласта I_1 от влияния выработанного пространства 1-й лавы возникает стационарная зона опорного давления шириной 50 м. Кроме того, впереди очистного забоя 2-й лавы возникает собственная зона временного опорного давления, ширина которой зависит от длины и мощности зависающей консоли кровли.

От краевых частей целика, оставленного шахтой им. Г.М. Димитрова на пласте I_7 , во 2-й лаве создаются зоны ПГД III категории. Первую зону 2-я лава перешла в сентябре 2000 года без каких-либо проявлений горного давления. На исследуемый момент лава находилась примерно посредине целика, до второго створа оставалось 100-110 м.

Способ управления кровлей во 2-й лаве – полное обрушение. Вентиляционный штрек охраняется двусторонней бутовой полосой. Ширина надштрековой полосы 3-4 м, косовичника – 1 м, подштрековой полосы – 15 м. Ниже бутовой полосы в выработанном пространстве лавы наблюдается зависание консолей песчаника по падению до 30 м и по простиранию до 35-50 м.

Согласно зарисовкам по 1-му конвейерному штреку, в интервале 624-721 м от центрального бремсберга глинистый сланец выклинивается и непосредственно в кровле залегают песчаник. 28 февраля 2003 года мощность глинистого сланца между угольным пластом и песчаником кровли в верхней части лавы уменьшилась до 0-0,05 м и, при входе лавы в зону приближения песчаника, в 13 часов 18 минут при вырубывании комбайна в верхней нише (не доезжая 1,5 м до верхней приводной головки конвейера СПЦ-261) произошло аномальное геодинамическое явление с тяжелыми последствиями. Аналогичные явления повторились 20 марта после сотрясательного взрывания в верхней нише в 17 часов 30 минут, 8 апреля в 18 часов 27 минут, спустя сутки после взрывных работ в верхней нише, при её зачистке. После этого лава была укорочена на 30 м, в верхней части лавы на участке 25 м проводилась гидрообработка угольного пласта водными растворами ПАВ в режиме гидрорыхления, выемка ниши осуществлялась в режиме сотрясательного взрывания. Однако, несмотря на предпринятые меры, после подвигания лавы на 100 м 29 сентября при остановленных механизмах и 15 октября в обработанной растворами ПАВ зоне при бурении шпуров воздушным сверлом снова произошли динамические явления.

Оценка напряженного состояния в горном массиве при отработке 2-й лавы центрального бремсберга пласта I_1

На больших глубинах величина опорного давления в зоне максимума может превышать значение первоначального давления в 2...20 раз [1, 2].

Максимум опорного давления впереди очистного забоя перемещается вместе с подвиганием лавы и постепенно снижается до первоначальной величины на расстоянии от 30 до 300 м от забоя и боковых границ выработанного пространства. Опорное давление имеет динамический характер, проявляется в виде затухающей волны Вебера.

Особенно большого значения опорное давление достигает в выступающих угловых частях угольного массива, где давление впереди лавы на-

кладывается на давление в краевой части массива. В результате этого, при сплошной системе разработки, когда выше находится отработанный столб, распределение опорного давления по длине лавы в установившемся режиме (после первичной посадки) характеризуется максимумом у вентиляционного штрека. По данным [1], этот максимум на глубине 800 м достигает 200 МПа. Во 2-й лаве центрального бремсберга пласта l_1 (глубина вентиляционного штрека 870 м), как показывают исследования, эта величина еще больше (рис. 1).

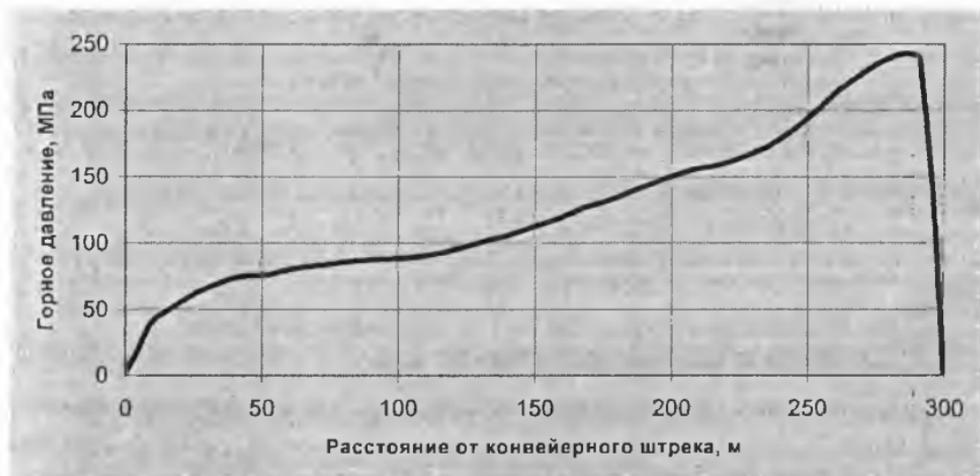


Рис. 1. Распределение горного давления по длине забоя при сплошной системе разработки во 2-й лаве центрального бремсберга пласта l_1 .

Максимум опорного давления находится на характерном расстоянии «X» от краевой части и груди забоя. По данным [3] он удален в массив на шаг обрушения основной кровли

Жданкин Н.А. [4] считает, что впереди очистного забоя в зоне опорного давления угольный пласт в вертикальном направлении сжат, при этом максимум вертикальных деформаций сжатия сосредоточен в центре пласта (при больших зависаниях кровли) и смещен к кровле и почве пласта (при малых зависаниях). При обрушении кровли верхняя часть пласта разгружается, а нижняя нагружается.

Горизонтальные деформации растяжения, вызывающие отжим угля, после обрушения кровли стабилизируются на глубине порядка $0,7 m_{пл}$ (где $m_{пл}$ - мощность пласта), а с увеличением зависающей консоли кровли глубина зоны отжима растет.

Шаг обрушения основной кровли в установившемся режиме можно определить по формуле:

$$L_{посл}^0 = 10,5 \sqrt{v_{сут}} (1 + \sin \alpha) e^{-0,7 \frac{h_p}{J_{кр}^0}}$$

где $v_{сут}$ – суточная скорость подвигания забоя, м/сут;
 α – угол падения пласта, град.;
 h_p – размер зоны активного расслоения пород, м;
 $f_{кр}^0$ – коэффициент крепости пород основной кровли;

$$h_p = 3,6 \cdot 10^4 Z_{он} \left(\frac{m_n \cdot n \cdot a}{f_y (1 + \eta) (1 + \sin \alpha) v_{сут} \psi} \right)^{0,5},$$

где m_n – мощность пород непосредственной кровли, м;
 n – количество расслоений в 1 м кровли;
 a – коэффициент, учитывающий вдавливание крепи в почву и деформацию верхняков;
 f_y – коэффициент крепости угля;
 η – отношение начального распора крепи к её рабочему сопротивлению;
 ψ – количество стоек крепи на 1 м² обнаженной кровли;
 $Z_{он}$ – ширина зоны опорного давления, м.

Оценка шага обрушения основной кровли для 2-й лавы центрального бремсберга пласта I₁ по этой методике дает значения $L_{посл}^0 = 10,5 - 13$ м, что хорошо согласуется с фактическими данными. Лишь в верхней части лавы у бутовой полосы зависания превышают эту величину.

По данным [3], расстояние до пика опорного давления должно быть примерно таким же.

Оценка величины напряжений в зоне опорного давления впереди очистного забоя 2-й лавы центрального бремсберга пласта I₁ производилась несколькими независимыми методами.

По данным [5] с учетом поправки на породы-мосты

$$\sigma_{max} = \sigma_{max}^{сж} + l_{он}^{max},$$

где
$$\sigma_{сж}^{max} = \rho g l_{np}^2 \frac{(h_j + h_i)}{2h_j^2},$$

ρ – плотность вышележащих пород, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l_{np} – предельный пролет породы-моста, м;

h_j – мощность породы-моста, м;

h_i – расстояние между породами-мостами (мощность пород, создающих нагрузку на консоль песчаника).

$$P_{он}^{max} = \rho g H + \sum \frac{\rho g h_j l_{np} a}{2S},$$

где H – глубина разработки, м.

Согласно этой методике в средней части лавы максимальное опорное давление составляет 137 МПа, коэффициент концентрации напряжений – 0,2; в верхней части лавы соответственно 217 МПа и 10,3.

Расчеты УкрНИМИ согласно [6, 7] позволяют получить величину действующих напряжений в пласте и расстояние до максимума опорного давления.

Напряжения в пласте

$$\sigma_{\max} = -\sigma_{kl} - \frac{KX_1}{0,5m},$$

где σ_{kl} – напряжения, действующие на краю пласта, $\sigma_{kl} = \sigma_{сж} = 15$ МПа;
 K – прочность угля с учетом контактных условий, $K = 1,3\sigma_{сж} = 19,5$ МПа;
 X_1 – расстояние до максимума опорного давления

$$X_1 = 0,96 \left(0,5m \frac{K_1}{K} \right)^{\frac{2}{3}} f(p);$$

m – вынимаемая мощность пласта, $m = 1,3$ м;

K_1 – коэффициент интенсивности напряжений, $K_1 = -\gamma H \sqrt{\pi \cdot 0,5a_1}$;

γ – объемный вес вышележащих пород, Н/м³;

H – глубина разработки, $H = 900$ м;

a_1 – ширина выработанного пространства 1-й лавы, $a_1 = 150$ м;

$f(p)$ – табулированная функция, $f(p) = 0,903$.

Расчеты показывают, что на расстоянии более 50 м от верхнего кутка лавы и в её средней части напряжения в пике опорного давления составляют 150 МПа, коэффициент концентрации напряжений 6,7. Расстояние до пика опорного давления – 4,5 м.

В 15 м ниже кутка лавы расчет параметров опорного давления производится как около очистной выработки сложной формы в плане. В этом случае

$$K_1 \approx \left(\frac{K^*}{0,96} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{KX_c}{\gamma H_c h} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{F_p h}{K} \right)^{\frac{3}{4}} \cdot \frac{K}{h};$$

где K^* – коэффициент, характеризующий геометрические особенности соотношения горных работ;

$2X_c = L_3$ – расстояние, на котором исходные напряжения в выработанном пространстве восстанавливаются в результате опускания пород кровли;

F_p – напряжения, действующие на единицу длины выработки,

$F_p = 1,5\gamma H L_3$, $h = 0,5m$.

Расчеты показывают, что напряжения в пике опорного давления в

15 м ниже кутка лавы составляют 243 МПа, коэффициент концентрации 10,8. Расстояние до пика опорного давления 7,6 м.

По данным анализа акустических сигналов, зарегистрированных при бурении шпуров для определения выхода штыба в забое 2-й лавы, сотрудники МакНИИ оценили напряженное состояние пласта следующим образом.

В 13,7 м от кутка верхней ниши зона отжима 2,5 м, зона разгрузки 3,25 м; максимум опорного давления на расстоянии $X = 3,5$ м, коэффициент пригрузки – 13,8. Если отождествить коэффициент пригрузки с коэффициентом концентрации напряжений, $\sigma_{\max} \approx 300$ МПа.

Ещё один способ оценки напряженного состояния основан на явлении образования капелек воды («испарины») на кровле и увеличении влажности угля в процессе происшедших динамических явлений.

Вода в горном массиве находится в свободном, физически и химически связанном состоянии. При определенных термодинамических параметрах химически связанная вода может переходить в свободную и физически связанную. На существование структурно-фазовых переходов с образованием свободной воды из химически связанной при воздействии высоких давлений указывалось неоднократно. Так, шахтные наблюдения показывают, что влажность угля, отобранного из очага выброса, превышает влажность угля из ненарушенной зоны в 1,5-2,4 раза. При повторной обработке давлением такой уголь уже не выделяет воду, а поглощает. При подходе к очагу выброса концентрация жидких флюидов возрастает с резко выраженным максимумом. Протяженность зоны чувствительности 5-14 м.

При выбросах песчаников влажность также возрастает, отмечается капез воды.

Однако наиболее ярким доказательством диссоциации химически связанной (кристаллогидратной) воды при механическом воздействии являются данные ДонФТИ НАНУ [8].

Испытания углей различных марок под давлением до 682 МПа показали, что при скоростях нагружения 10-15 МПа/с (динамические нагрузки) у углей проявляются специфические свойства кристаллогидратов: ступенчатость дегидратации, существование областей давлений, обеспечивающих максимальное выделение жидкой воды.

Под давлением осуществляется обратимый переход кристаллогидратная \rightarrow жидкая вода (рис. 2). Наибольшее содержание воды в углях (до 1,6–2 %) наблюдается после воздействия давлений 198-220 МПа (первая тройная точка воды и льдов), а также 479-636 МПа (третья тройная точка). Минимум влажности отмечается при давлениях 250-400 МПа (вторая тройная точка воды и льдов).

Наличие капелек воды на кровле пласта и повышенная влажность штыба после всех геодинамических явлений свидетельствует о том, что в зоне опорного давления величина напряжения находилась именно в диапазоне 198-220 МПа. И лишь последнее явление (после гидрообработки) могло произойти при меньших давлениях.

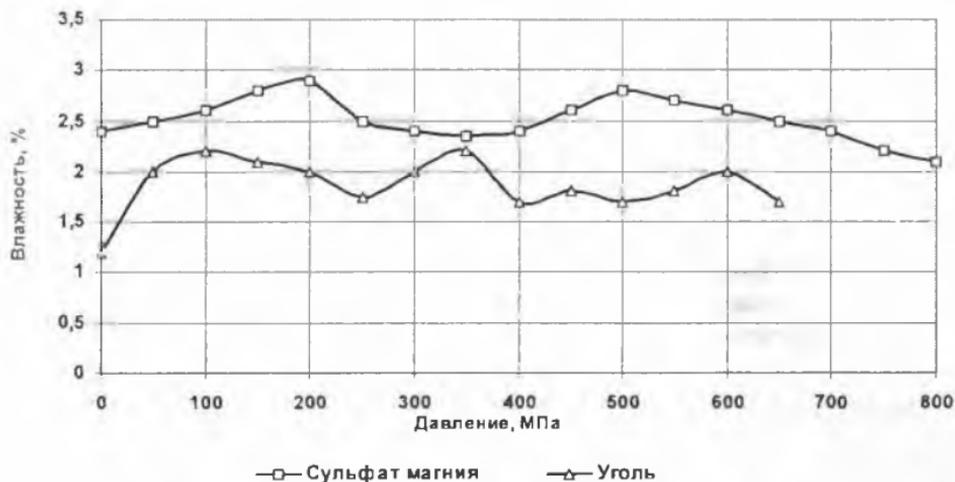


Рис. 2. Зависимость содержания жидкой воды от величины давления.

Следует отметить, что ещё один минимум влажности (особенно при скоростях нагружения менее 5 МПа/с) наблюдается при давлении 150 МПа, т.е. происходит переход части жидкой воды в твердую фазу. Поэтому при отсутствии значительных пиков опорного давления влажность угля, как правило, не превышает 1-1,2%.

Отсутствие видимой влаги после гидрообработки (около 5 м³ в скважину) может быть объяснено именно переходом свободной воды в кристаллогидратную при уменьшении горного давления впереди лавы за счет оставления целика шириной 30 м между 1-й и 2-й лавами. В то же время напряжения в целике по оценкам УкрНИМИ составляет более 500 МПа.

Динамическое разрушение угля, глинистого сланца (при мощности менее 0,1 м), песчаника (при выбросах, спровоцированных взрывными работами) может быть обусловлено структурно-фазовым переходом кристаллогидратная → жидкая вода, сопровождающимся скачкообразным (взрывоподобным) изменением объема. Сильный и продолжительный (до 3 сек) внутренний рассредоточенный взрыв при гео- и газодинамическом явлении существенно отличается от резкого и короткого взрыва взрывчатого вещества. Разнонаправленность и избирательность разрушения связаны с наличием широкого спектра разнонаправленных волн, образующихся в результате деформационно-взрывных процессов (геодеформационных волн).

В процессе адиабатического сжатия угольного пласта и развивающихся деформаций сдвига возникает существенное повышение температуры, которое ощущается в полостях спустя несколько суток после явления. За счет высокой температуры и давления часть угольного вещества претерпевает структурные изменения (аморфизацию) и тонкодисперсная пыль по плоскостям скольжения («бешеная мука»), образующуюся в процессе явления, имеет буроватый цвет (черта фюзенита).

Выводы

1. Наличие в кровле пласта I_1 мощных и прочных слоев песчаника приводит к формированию опорного давления впереди очистного забоя, превышающего величину геостатического напряжения пород на заданной глубине в 6...10 раз. Величина максимального опорного давления на пласт со стороны выработанного пространства у вентиляционного штрека достигает 220...300 МПа.
2. Величина опорного давления составляет 120...150 МПа в центре лавы и 220...300 МПа у вентиляционного штрека.
3. Динамические явления во 2 лаве центрального бремсберга пласта I_1 могли быть результатом структурно-фазовых переходов воды и угольного вещества под действием высоких давлений порядка 200-220 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якоби О. Практика управления горным давлением. – М.: Недра, 1987.
2. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок. – М.: Недра, 1993.
3. Черняк И.Л., Зайденварг В.Е. Периодичность изменения напряженно-деформированного состояния массивов угля и пород впереди очистного забоя. – Горный журнал, 1993. - №3. – С. 25-28.
4. Жданкин Н.А., Жданкин А.А. Геомеханика горных выработок. Сопряжение лава-штрек. Новосибирск: Наука, 1990. – 112 с.
5. Лобков Н.И. К вопросу о механизме формирования горного давления в лавах пологих пластов. В сб. «Физико-технические проблемы горного производства» №6, под ред. А.Д. Алексеева, - Донецк: 000 «Апекс», 2003, - с.81-87.
6. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, склонные к горным ударам. Утв. МУП СССР 18.11.1988 г. – Л.: ВНИМИ, 1988. – 87 с.
7. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля (методические указания). – Л.: ВНИМИ, 1979. – 130 с.
8. Носач А.К., Рязанцева Н.А., Бачурин Л.Л., Рязанцев Н.А. Распределение влаги в горном массиве и влияние горных работ на обводнение выработок // Материалы научно-практической конференции «Наука-Жизнь-Производство». Красноармейск: КФ ДонНТУ, 2001. – С.