

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЦЕЛИКОВ УГЛЯ НА ПЛАСТАХ, СКЛОННЫХ К ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ И САМОВОЗГОРАНИЮ

к.т.н. Левкин Н.Б., к.т.н. Кузьменко Н.С. (МакНИИ), к.т.н. Ревва В.Н.  
(ИФГП НАН Украины), инж. Зинченко К.А. (шахта «Коммунист»)

*За результатами аварій, що пов'язані з підвищенням метановиділення, газодинамічними явищами та самозагоріння при видобуді ціликів вугілля, галузевими науково-дослідницькими інститутами виконані дослідження активізації деформаційних процесів масиву порід над виробленим простором. Проведені експериментальні дослідження з установлення закономірностей та особливостей стану пласта і бокових порід в межах та поза цілика. Надані рекомендації з безпечної відробки ціликів вугілля в зонах опорного тиску та підвищеного газовиділення.*

## RAISING MINING SAFETY AT WORKING OUT THE COAL PILLARS IN SEAMS DANGEROUS FOR GAS DYNAMICAL PHENOMENA OR SPONTANEOUS IGNITION

Levkin N.B., Kuzmenko N.S., Revva V.N., and Zinchenko K.A.

*Accidents investigation results caused by high methane emission, gas dynamic phenomena, or spontaneous ignition during working out coal pillars were put into base of the present study in over-goaf rock mass deformation processes activation carried out by several research institutes of coal industry. Coal seam and bearing rocks behavior and features inside or outside the pillar have been established experimentally. Recommended practice of safe coal pillar working in abutment zones or higher gas emission areas is presented.*

Половина угольних пластів Донбасса схлонні к газодинамічним явленням (ГДЯ) и четверть из них - опасны по самовозгоранию угля. За период с 1991 по 2000 гг. на шахтах Украины произошло 1512 ГДЯ, из которых 41 - внезапный выброс угля и газа, в результате чего смертельно пострадало 90 человек. В два раза выросла тяжесть последствий ГДЯ. Значительный материальный ущерб (до 10%) приносят подземные эндогенные пожары, хотя удельный вес их в числе аварий составляет менее 1% [1].

Ухудшаючіся горно-геологічні умови (перехід на глибокі горизонти, супроводжується ГДЯ, самовозгоранням угля и др.) и горно-технічні фактори (недостаточне матеріально-технічне снабження, відсутність или недостаток горних машин и обладнання), обуславлюють необхідність припинення ведення очистних робіт, а иногди и відмовитися от дальнішого продовження робіт, оставляя, так назива-

смые, целики угля.\* Кроме того, угольные целики нередко оставляются с целью охраны подготовительных горных выработок, в том числе полевых, групповых и др.

Целики угля являются концентраторами напряжений вокруг себя и при определенных геомеханических процессах, инициируемых производственной деятельностью, могут послужить одним из факторов, способствующих возникновения газодинамического явления. Наиболее четко такие закономерности прослеживаются при отработке уклонных полей по схеме «длинные столбы по простиранию с отработкой от границ шахтного поля до выработанного пространства разгрузочной лавы». При этом доработка лав осуществляется в межлавных целиках угля, которые испытывают повышенное опорное горное давление, возрастающее по мере сокращения размеров целика, в результате наложения пиков опорного горного давления впереди движущейся лавы (динамического) и от оставленного целика (статически относительно устоявшегося).

Такие условия относятся к особо сложным и горная практика подтверждает в таких зонах наибольшую вероятность проявления ГДЯ. При доработке целиков угля на пластах, склонных к самовозгоранию повышается вероятность их пожароопасности вследствие повышенных процессов окисления, разрушения, увеличения количества подаваемого воздуха и др. Из общего числа эндогенных пожаров более 40% приходится на целики угля различного назначения и 25% на целики в зонах геологических нарушений [3].

В целиках угля повышается напряженно-деформированное и газодинамическое состояние пласта [4]. Кроме того, при сокращении целиков до размеров менее ширины зоны опорного давления происходит их переход в предельно напряженное состояние, что для пластов, опасных по горным ударам, является катастрофическим.

Подтверждением отмеченного служат аварии с групповыми несчастными случаями на ряде шахт.

Так, на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» 24.05.99 произошла авария с групповым несчастным случаем в период доработки целика угля разгрузочной лавой пласта  $m_3$ , отработывающей пласт по восстанию в направлении очистного забоя, остановленного 19.08.94 (рис. 1).

Пласт  $m_3$  мощностью 1,41-2,1 м с углом падения 9-13° имеет природную газоносность 24 м<sup>3</sup>/т.с.д., опасен по внезапным выбросам угля и газа, склонен к самовозгоранию, особенно в зонах тектонической нарушенности. Боковые породы, вмещающие пласт  $m_3$ , представлены на рис. 2. Вы-

---

\* В геомеханическом аспекте под целиком угля понимают часть угольного массива, наименьший размер которой не превышает  $2\ell$  ( $\ell$  - ширина зоны опорного давления, определяемая в соответствии с «Инструкцией...» [2]). Когда очистные работы ведутся в направлении на выработанное пространство, доработка лав в этих условиях, согласно вышеприведенному определению, осуществляется как при отработке целиков.

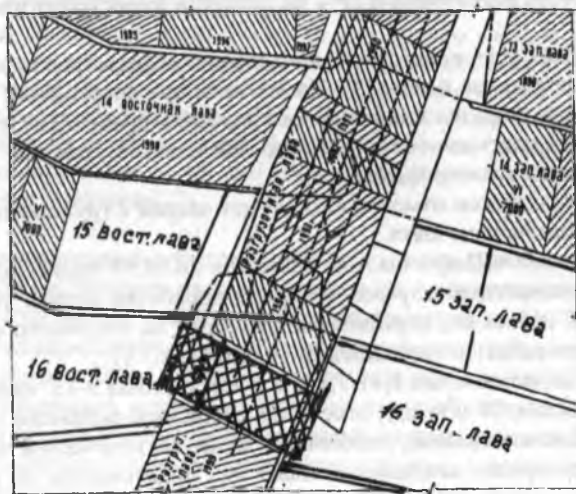
емка угля в лаве производилась механизированным комплексом ЗКД-90.

На момент аварии размеры зон опорного давления от забоев лав и ширина целика составляли 70 м. Наложение зон опорного давления от движущегося и остановленного забоев привело к активизации деформационных процессов массива пород над выработанным пространством остановленной лавы, что и послужило причиной внезапного прорыва газа в выработки аварийного участка, повлекшего взрыв метановоздушной смеси (МВС).

Авария, происшедшая 19.08.01 и связанная со взрывом МВС в 15 западной лаве пласта  $m_3$  указанной шахты повлекла за собой травмирование 86 чел., в т.ч. 55 чел. - смертельно. Взрывчатая смесь образовалась в результате поступления метана из пластов-спутников и вмещающих пород пласта  $m_3$ . Источником воспламенения метана явилось самовозгорание угля в верхней части выработанного пространства лавы.

Как в первом, так и во втором случаях после ликвидации аварий необходимо было дорабатывать оставшиеся целики угля. Они были безопасно доработаны по рекомендациям отраслевых институтов МакНИИ, УкрНИМИ, ДонУГИ и НИИГД.

Для установления особенностей поведения массива пород и самого пласта угля в пределах и вне целиков было проведено ряд теоретических и экспериментальных исследований.



Зона наложения опорного давления

Рис. 1. Эскиз места аварии 24.05.99 АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» пл.  $m_3$ .

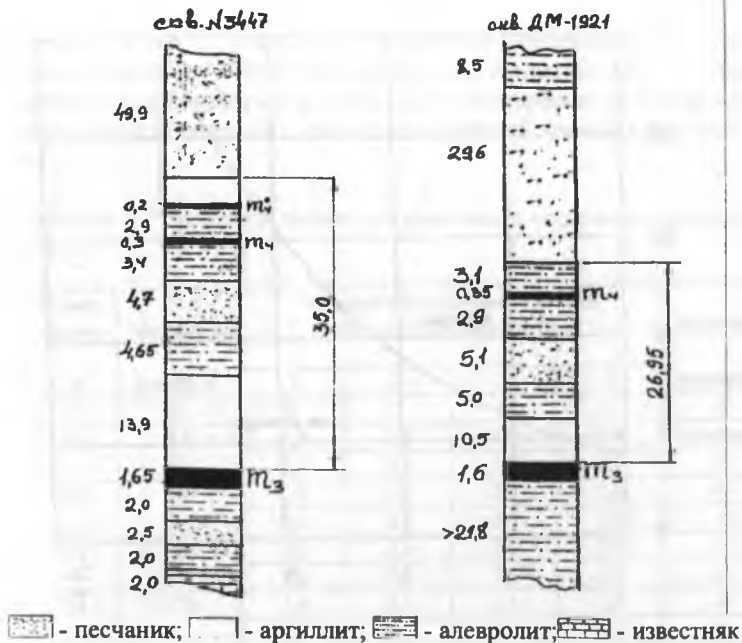


Рис. 2. Структурные колонки массива пород, вмещающих пласт  $m_3$ .

Так, первоначально в разгрузочной лаве пласта  $m_3$ , кроме текущего прогноза выбросоопасности по акустической эмиссии (АЭ), осуществлялась оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) призабойной части лавы с использованием метода оценки по выходу буровой мелочи из шпуров диаметром 42-45 мм [5,6]. Дальнейшими исследованиями установлены критерии критических напряжений по показателям выхода буровой мелочи из шпуров. На основании этого разработана номограмма, позволяющая устанавливать в пласте опасные по напряжениям зоны (рис. 3).

Результаты оценки НДС целика представлены в табл. 1. Как следует из таблицы 1, целик угля характеризуется как неопасный по действующим напряжениям.

На этом же пласте  $m_3$  шахты им. А.Ф.Засядько проведены экспериментальные исследования в ряде лав по установлению закономерностей и особенностей состояния пласта и боковых пород в пределах и вне целика с использованием: автоматизированного контроля выбросоопасности по параметрам техногенного акустического сигнала [3,7]; определения состояния массива пород по параметрам акустического сигнала при импульсном возбуждении массива [3,8]; определения НДС пласта по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала [3,9]; по газодинамике [2].

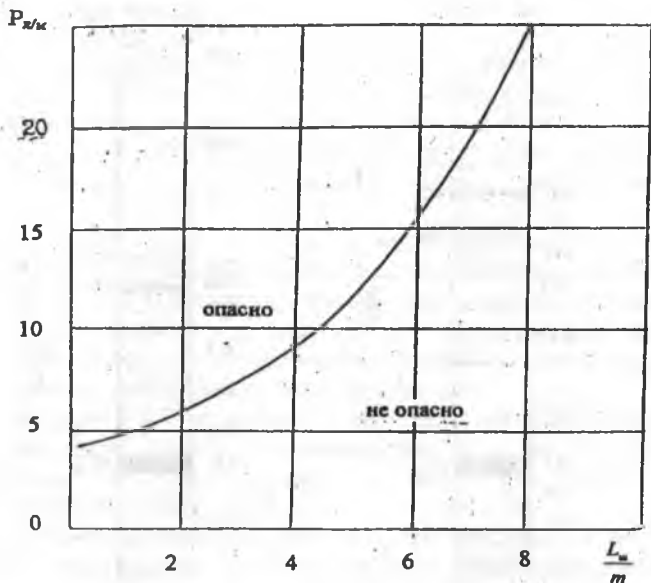


Рис. 3. Номограмма для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) целиков угля ( $P_{л/м}$  - выход буровой мелочи с 1 пог. м шпура, л/м;  $L_{л/м}$  - длина шпура, м.;  $m$  - мощность пласта, м).

Для качественной оценки выбросоопасности использован коэффициент  $K_v$ , равный

$$K_v = \frac{A_v}{A_n},$$

где  $A_v$  - амплитуда высокочастотной составляющей акустического сигнала;  
 $A_n$  - амплитуда низкочастотной составляющей акустического сигнала.

Из комплекса исследований, приведем лишь результаты исследований в 15 восточной лаве пласта  $m_3$ . В этой лаве на протяжении 150 м ее подвигания выполнено пять циклов измерений при импульсном возбуждении, а также производилась оценка НДС с позиций выбросоопасности по параметрам акустического сигнала. Так как лава была остановлена на расстоянии 82 м по конвейерному и 160 м по вентиляционному штрекам, конвейерный штрек и большая часть лавы на конец исследований находились в пределах целика. Для этой лавы ширина зоны опорного давления составляет  $\ell=7$  м [2] и соответственно ширина целика  $2\ell = 146$  м. В результате исследований установлено: при измерениях первого цикла характерным является

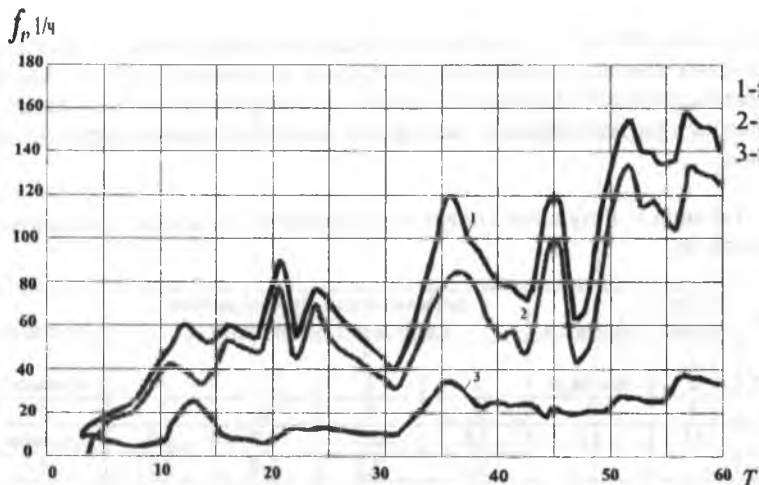
значительные  $K_v=4-7,3$ ; наиболее выраженные поверхности ослабления межслоевых контактов (ОМК) находились на расстоянии 0,5-9 м. Анализ сейсмоакустической информации показал, что измерения этого цикла были выполнены при значительных зависаниях основной кровли в верхней части лавы.

Таблица 1. Результаты оценки напряженного состояния краевой части пласта  $m_3$ .

Номер шпура	Размер целика * м	Мощность пласта, м	Значение выхода буровой мелочи Рл/пог.м по глубине шпура, м				Категория опасности
			1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	33	1,6	1,8	2,5	2,8	3,0	неопасно
2			2,5	2,2	3,0	3,5	-//-
3	30	1,65	2,0	2,5	2,5	3,0	-//-
4			2,0	2,2	2,5	3,0	-//-
5	27	1,65	2,0	2,4	3,0	3,0	-//-
6			2,2	2,5	2,5	3,0	-//-
7	24	1,70	1,4	2,1	2,1	1,4	-//-
8			1,4	1,4	2,1	1,4	-//-
9	21	1,65	1,8	2,5	2,0	1,6	-//-
10			1,4	2,0	2,2	1,6	-//-
11	17	1,65	1,5	2,2	2,0	1,5	-//-
12			1,4	2,4	2,3	1,7	-//-
13	16	1,70	1,4	1,4	1,5	1,7	-//-
14			1,4	1,7	1,7	2,1	-//-
15	15	1,67	1,4	2,1	2,5	2,8	-//-
16			1,4	1,8	2,1	2,5	-//-
17	13	1,6	2,1	2,5	3,0	2,8	-//-
18			2,0	3,0	3,0	2,8	-//-
19	12	1,68	1,7	1,9	2,5	3,0	-//-
20			1,9	2,8	2,1	3,2	-//-
21	11	1,75	1,2	1,7	2,1	2,4	-//-
22			1,4	2,0	2,3	2,1	-//-
23	10	1,68	1,4	2,1	2,1	1,4	-//-
24			1,4	1,4	2,1	1,4	-//-
25	9	1,67	1,6	1,8	1,8	2,0	-//-
26			1,9	2,1	2,0	1,9	-//-

Примечания:

1. Шпуры с нечетными номерами пробурены в верхней, а с четными - в нижней нишах разгрузочной лавы.
2. Бурение шпуров происходило без толчков и ударов в угольном массиве.



**Рис.5.** Характер изменения «шумности» по верхней и нижней частям 15 западной лавы: 1 - суммарная «шумность» лавы; 2 - «шумность» по верхней части; 3 - «шумность» по нижней части.

Ранее считали, что первичный шаг посадки основной кровли значительно превышает шаги последующих посадок, в связи с чем намечались конкретные технологические мероприятия по проветриванию, дегазации и креплению выработок. Эти представления были основаны на анализе изменения газообильности выработок, на анализе дебита дегазационных скважин, на оценках конвергенции боковых пород и на оценке АЭ. С увеличением  $V_{оч}$  до 4...5 м/сутки показатели АЭ остались единственным признаком посадки. На рис.6 представлен график изменения во времени  $T$  показателя  $X_{30}$  в течение всего безаварийного периода отработки выемочного поля 15 западной лавы. На данном графике четко просматриваются четыре «пика» шумности, по которым можно установить время посадки основной кровли, а затем определить соответствующие значения  $L_B$ . Согласно графика на рис.6 определены значения шагов посадки  $L_{III}$  по маркшейдерским замерам подвигания лавы, а результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Временная и пространственная привязка «пиков» шумности к началу очистных работ в 15 западной лаве пласта  $m_3$ .

$T$ , сут	50...58	197...210	433...438	694
$L_B$	205	580	860	985
$L_{III}$	205	375	280	125

динамических явлений в угольном пласте. Измерения 3,4,5 циклов показали, что по мере продвижения лавы в целик последовательно возрастали коэффициенты выбросоопасности. Их значения были: в конвейерном штреке 2,1; 2,6 и 3,5; в лаве - 1,4 (вне целика), 2,2 и 3,9. Однако положение ОМК при этом существенно не изменилось. Исследованиями установлено, что чем выше выбросоопасная ситуация в массиве пород, тем ближе к пласту располагаются поверхности ОМК. Это свидетельствует о наличии значительных межслоевых деформаций (расслоения, отслоения), сосредоточенных вблизи пласта и не распространяющихся на большие расстояния.

Следует отметить, что на шахте им.А.Ф.Засядько имеется большой опыт отработки целиков. При их отработке проявления ГДЯ не отмечено. Наблюдались случаи повышенного газовыделения в горные выработки, повышенное горное давление кровли на пласт, что выражалось в ухудшении состояния кровли в призабойном пространстве, возрастании смещения боковых пород. Это нередко приводило к посадке секций механизированных крепей «нажестко».

Опасность проявления ГДЯ (степень опасности зависит от характера перехода пласта в предельное состояние - хрупкого или пластического) при отработке целиков сохраняется вплоть до полного перехода их в предельное напряженное состояние. Указанный переход находится в интервале от  $\ell$  до  $0,2\ell$ . Прогнозировать опасность возникновения ГДЯ и своевременно принимать меры по их предотвращению позволяет непрерывный контроль состояния массива. Эту возможность дают осуществлять разработанные МакНИИ нормативные методы акустического контроля состояния массива пород [7,8, 9], в т.ч. и автоматизированные, которые рекомендуются к применению.

Как отмечено выше, целики угля, подверженные воздействию опорного горного давления деформируются и уголь в них характеризуется повышенной химической активностью и дробимостью. Имеет место повышенное газовыделение. Последнее требует интенсификации проветривания, а это провоцирует самовозгорание угля. На основании исследований и опыта работы установлено [3], что на угольных пластах, склонных к самовозгоранию и ГДЯ, отработку целиков угля целесообразно производить с применением антипирогенов, которыми обрабатываются все пожароопасные места.

Применение антипирогенов на основе жидкого стекла и КМЦ в жидком виде может применяться путем набрызга и нагнетания в шпуров по уголю длиной до 2,5 м, при давлении 0,6 МПа, а в порошкообразном виде - путем закладки и нагнетания его пневмозарядчиком. Антипирогены широко применялись по рекомендациям НИИГД при отработке целиков угля на пластах, склонных к самовозгоранию и опасным по ГДЯ на шахтах «Чайкино» ГХК «Макееуголь» (пласт  $m_3$ ), им.А.Ф.Засядько (пласты  $m_3$  и  $\ell_1$ ).

Таким образом, установлено, что с учетом изменения ширины обрабатываемых целиков угля  $L_c$  требуется дифференцированный выбор способов предотвращения ГДЯ и корректировка параметров этих способов.



проверивания добычных участков, их дегазации и поддержания выработок. Поэтому нами продолжено исследование связи показателей «шумности» с параметрами  $T$  и  $L_B$ .

Эти исследования показали, что в одних условиях «шумность» теснее коррелирует с параметром  $T$ , в других - с параметром  $L_B$ . В начальный период, до момента посадки основной кровли, изменение  $f_i$  хорошо описывается простыми математическими зависимостями, включающими периодические функции с относительно продолжительным периодом, равным 40...60 суток. Например, для условий 15 западной лавы пласта  $m_3$  «шумность» верхней части лавы при  $T < 55...60$  суток выражалась формулой

$$\bar{f}_i = 2.31 \cdot (T - 4) + 20.6 \cdot \sin 0.125 \cdot (T - 4) \quad (3)$$

где  $\bar{f}_i$  - характеристика основной тенденции изменения «шумности» во времени  $T$ , по своему смыслу соответствующая математическому ожиданию случайной функции  $f_i$  от  $T$ .

График зависимости (3) представлен на рис.3, из которого следует, что на основную тенденцию изменения «шумности» накладывается некоторая «высокочастотная» составляющая  $F$ , представленная графически на рис.4 и определенная как разность  $X_{30}$  и  $f_i$ :

$$F = X_{30} - \bar{f}_i \quad (4)$$

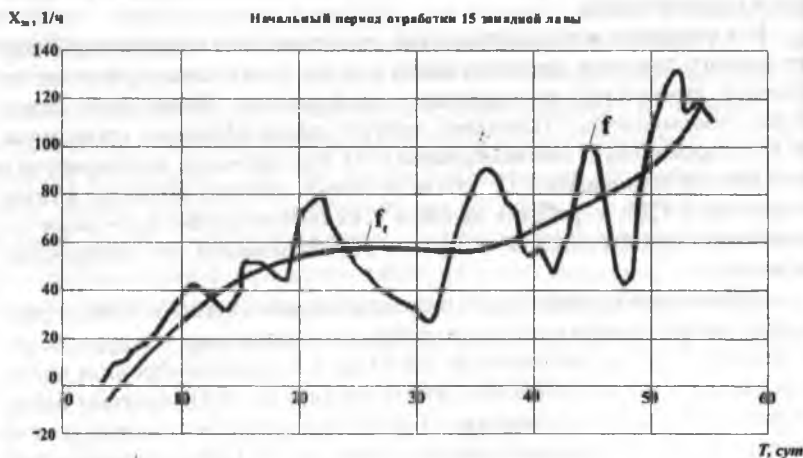


Рис.3. Зависимость показателя «шумности» верха 15 западной лавы от продолжительности очистных работ: 1- основная тенденция в изменении «шумности» во времени; 2- «высшие гармоники» графика изменения «шумности».

7. Руководство по применению на шахтах Донбасса способа автоматизированного контроля выбросоопасности в очистных выработках по параметрам техногенного акустического сигнала./МакНИИ.- Макеевка, 2000.-14 с.
8. Руководство по применению на шахтах Донбасса способа контроля выбросоопасности призабойной части массива в подготовительных выработках по параметрам акустического сигнала/ МакНИИ.- Макеевка, 1996. - 11 с.
9. Руководство по применению на шахтах Донбасса способа определения величины зоны разгрузки призабойной части выбросоопасного угольного пласта/ МакНИИ.- Макеевка, 1994.- 6 с.