

УДК 622.831.325

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Южанин И.А., Феофанов А.Н.

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Евдокимова В.П., Пищев А.В. (МакНИИ, г. Макеевка, Украина)

Наведено параметри найпоширеніших локальних способів запобігання газодинамічним явищам. Виконано їх аналіз з геомеханічних позицій, зокрема на основі теорії поза межнього деформування. Розроблено напрями вдосконалення локальних способів.

Parameters of the most widespread local methods for prevention of gas-dynamic phenomena are given. They have been analyzed in the view of geomechanics, in particular based on the theory of deformation exceeding the maximum value. Recommendations for improving local methods have been worked out.

К локальным относят способы предотвращения газодинамических явлений (ГДЯ), осуществляемых из действующего забоя. Отраслевым стандартом Украины СОУ...[1] регламентируется большое количество локальных способов предотвращения ГДЯ, весьма разнообразных по условиям применения, методам реализации и параметрам (табл. 1). История их осуществления насчитывает от нескольких лет до полувека, поэтому имеется возможность проанализировать эффективность применения большинства из них в течение длительного периода.

Анализ 1017 ГДЯ, произошедших в конце прошлого столетия в забоях крутого и пологого падения (различие в эффективности применения способов в зависимости от угла падения пласта оказалось несущественным) показывает следующее. Практически при всех способах предотвращения ГДЯ, принятых к промышленному применению, имели место случаи их проявления.

Таблица 1

Характеристика локальных способов предотвращения ГДЯ

Наименование способов	Назначение, область применения	Величина параметров				
		l , м	d, b , мм	c , м	l_n , м	других
1	2	3	4	5	6	7
1. Гидрорыхление угольного пласта	Предотвращение ВВ, Вд, ГУ ¹⁾ .	4...8	42...45	Не более $2R_{эф}$.	$l_{ф} = 1...2$	$l_2 = 3...6$ м; $l_0 \leq l_2$; $P_H = (0,75...1,0) \times \gamma H$, МПа
2. Гидроотжим призабойной части пласта	Предотвращение ВВ, ГУ ²⁾ .	$l_2 + 0,3$		$1,8 l_2$	0,7 – очистные забои; 1,0 - подготовительные ³⁾ .	$l_2 = 2...5,5$ м; $P_{max} \geq 0,7 \gamma H + P_c$; $P_k = 3 + P_c$
3. Образование разгрузочных пазов	Предотвращение ВВ	Не более 2,5; в потолочных уступах – не более 2,0	60...80			
4. Образование технологических пазов	Предотвращение ВО	То же				Толщина досок $\delta > 40$ мм
5. Образование разгрузочных щелей во вмещающих породах	Предотвращение ВВ, Вд, ГУ при проведении подготовительных выработок проходческими комбайнами		Минимум 400		1,0	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
6. Бурение опережающих (разгрузочных) скважин	Предотвращение ВВ	Не ограничиваются	80...250	Не более $2R_{эф.}$	Не менее 5,0	
	Предотвращение Вд	Не менее $2l_n$	То же		Не менее $l_m + 3$	
	Предотвращение ГУ	Не менее $n_3 + \epsilon_n$	То же		Не менее n_3	
7. Торпедирование угольного массива	Предотвращение ВВ, Вд, ГУ. Без предварительного нагнетания воды в пласт	$f(l_p)$	55...60	Не менее 2 в нишах, не менее 2,5 в остальных выработках	Не менее 5 в подготовительных забоях, не менее 3 в очистных	
	То же, с предварительным нагнетанием воды в пласт в режиме гидрорыхления	8	45	Не менее 3 в комбайновой части лавы, не менее 2,5 в остальных выработках	2	$l_2 = 5,5 \dots 6,5 \text{ м}$
8. Образование разгрузочной щели по длине очистного забоя	Пологие и наклонные пласты с устойчивыми и средней устойчивости породами кровли	$\epsilon_n + l_n$	70...120		0,2; при врубовой машине 0,45	
9. Вибрационное воздействие на призабойную часть пласта	Снижение выбросоопасности при проведении выработки по выбросоопасным пластам с $f \geq 0,6$	2,5; на особо опасных не более 2	Не более 80	Не более $2R_{эф.}$		

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
10. Образование разгрузочных щелей	Предотвращение выбросов породы и газа		Не менее 20		0,3	
11. Возведение опережающей крепи	Предотвращение ВО в выработках крутых и крутонаклонных пластов несущими элементами крепи, в т.ч. с применением скрепляющих составов.	$n \cdot v_n + l_n$	42...43	Не более 0,3	0,7; на особо опасных 1,0	
12. Бурение дегазационных скважин	Предотвращение внезапных прорывов газа из почвы выработок при надроботке	До пересечения источника газовойде-ления	Не менее 76			

Примечания:

1. Сокращения: ВВ – внезапный выброс угля и газа; ВО – внезапное обрушение (высыпание угля); Вд – внезапное выдавливание угля; ГУ – горный удар; l – длина (глубина) проникновения в массив способов предотвращения; d – диаметр шпуров и скважин; b – ширина (высота) пазов и щелей; l_2 – глубина герметизации; z – расстояние между шпурами и скважинами; l_n – величина неснижаемого опережения; $R_{эф}$ – эффективный радиус влияния; l_0 – допустимая величина выемки; v_n – вынимаемые запасы угля (величина заходки); P_c – потери давления в гидросети; l_p – величина зоны разгрузки; ГН – геологическое нарушение; ПГД – повышенное горное давление; n_3 – ширина защитной зоны; l_m – расстояние до максимума опорного давления; Н – глубина разработки; γ – объёмный вес пород; P_k – конечное давление нагнетания.
2. Не применяют: в восстающих выработках с углом наклона более 25°, потолок – и почвоуступных забоях крутых и крутонаклонных пластов.
3. В зонах ГН и ПГД увеличивают на 0,2 м; на пластах, склонных к ГУ, $l_n \geq 0,7n_3$.

Наибольшее количество случаев ГДЯ произошло при применении опережающих скважин (49 % от общего их количества при применении способов предотвращения), гидрорыхления (20,3 %), низконапорного увлажнения (9,5 %), камуфлетного взрывания (6,3 %), дегазации (4,8 %), гидроотжима (3,2 %), разгрузочных пазов (2,6 %). Учитывались случаи без нарушения технологии выполнения способов. Необходимо отметить, что эти явления происходили как в процессе выполнения способов предотвращения ГДЯ, так и после их выполнения при ведении горных работ.

Поскольку при расследовании аварий нарушений в технологии выполнения способов предотвращения ГДЯ не отмечено, причины возникновения явлений следует искать в другом. Целесообразно проанализировать сущность локальных мероприятий предотвращения ГДЯ и их параметры с геомеханических позиций.

На современных глубинах ведения горных работ (800 - 1400 м) призабойные зоны угольных пластов и породы, вмещающие выработки, во многих случаях находятся в запредельном состоянии, которое характеризуют следующие показатели (рис. 1) [2-6]:

- модуль деформации запредельной ветви (модуль спада) M ;
- коэффициент поперечной деформации в запредельном состоянии,

равный $\beta = \frac{\varepsilon_3'}{\varepsilon_1'}$, где ε_3' и ε_1' – соответственно поперечная

и продольная относительные деформации пласта на нисходящем участке диаграммы деформирования;

– коэффициент, определяющий характер деформирования пласта, $\xi = M / E$, где M – модуль спада; E – модуль деформации;

– остаточная прочность пласта σ_0 ;

– коэффициент увеличения объёма пласта (разрыхления) $k_p = V_1 / V_0$, где V_1 и V_0 – соответственно объём угля после и до нагружения.

Теория запредельного деформирования объясняет характер поведения материала за пределом прочности и может быть применена к различным схемам нагружения угольного пласта боковыми породами.

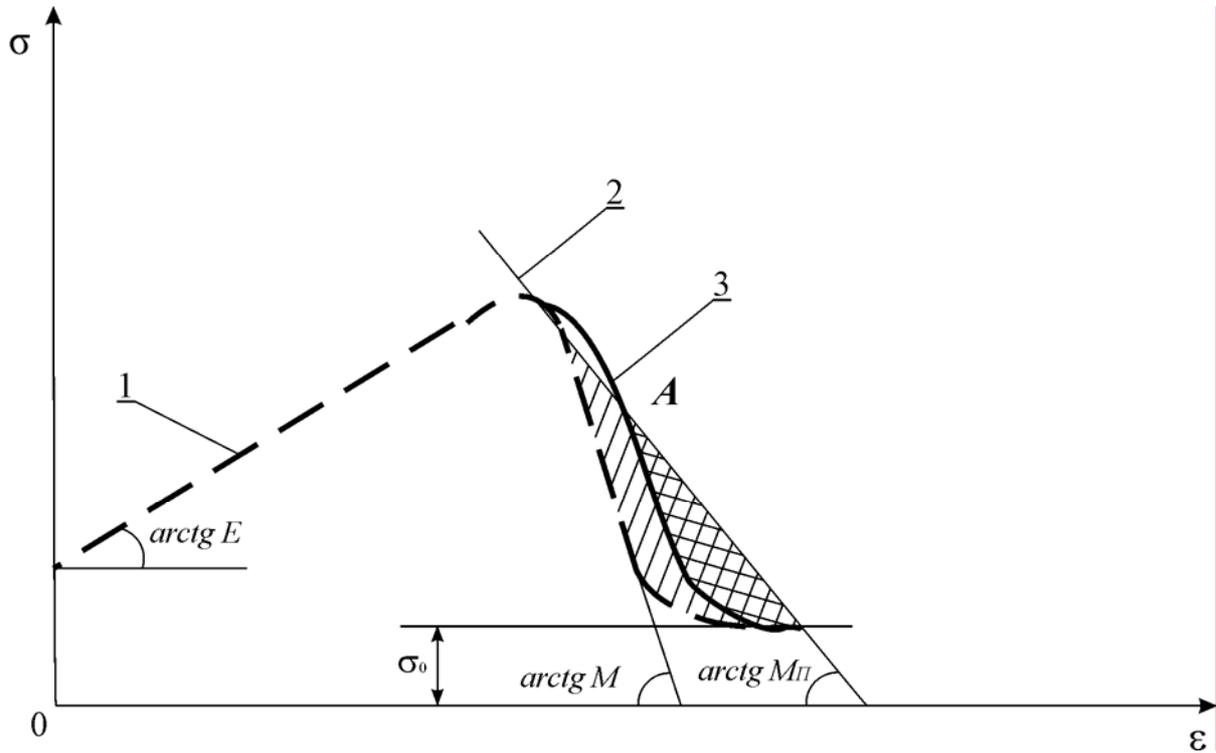


Рис. 1. Диаграмма деформирования краевой части угольного пласта и вмещающих пород

- 1 – диаграмма деформирования пласта;
- 2 – то же боковых пород;
- 3 – диаграмма деформирования угольного пласта при локальном изменении его жёсткости.

Из рис. 1 видно, что если деформирование пласта за пределом прочности осуществляется в мягком режиме, т.е. модуль спада пород меньше модуля спада угольного пласта $M_n < M$, то в боковых породах при нагружении краевой части угольного пласта накапливается избыток потенциальной энергии по отношению к энергии, требуемой для разрушения пласта на пределе прочности (заштрихованный участок).

Величина избытка энергии, отнесённая к единице объёма угольного пласта, может быть определена из выражения

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{\sigma^2}{2E} \left(1 - \frac{1}{\xi}\right), \quad (1)$$

где σ – предел прочности угля на сжатие.

Избыток энергии реализуется в виде динамического воздействия на пласт с выдвиганием его в призабойное пространство (внезапное выдавливание угля), разрушением пласта на отдельные куски (горный удар), разрушением пласта с выносом его частиц в воздушном потоке – при значительном давлении свободного и десорбирующегося газа (внезапный выброс угля и газа) либо разрушением части пласта (чаще всего угольного целика) с выделением большого количества газа (внезапное газовыделение).

Рассмотрим выполнение локальных способов предотвращения ГДЯ с геомеханических позиций. На рис. 2 (см. также табл. 1) представлены основные параметры (глубина внедрения в угольный пласт, величина неснижаемого опережения) наиболее распространённых способов предотвращения ГДЯ.

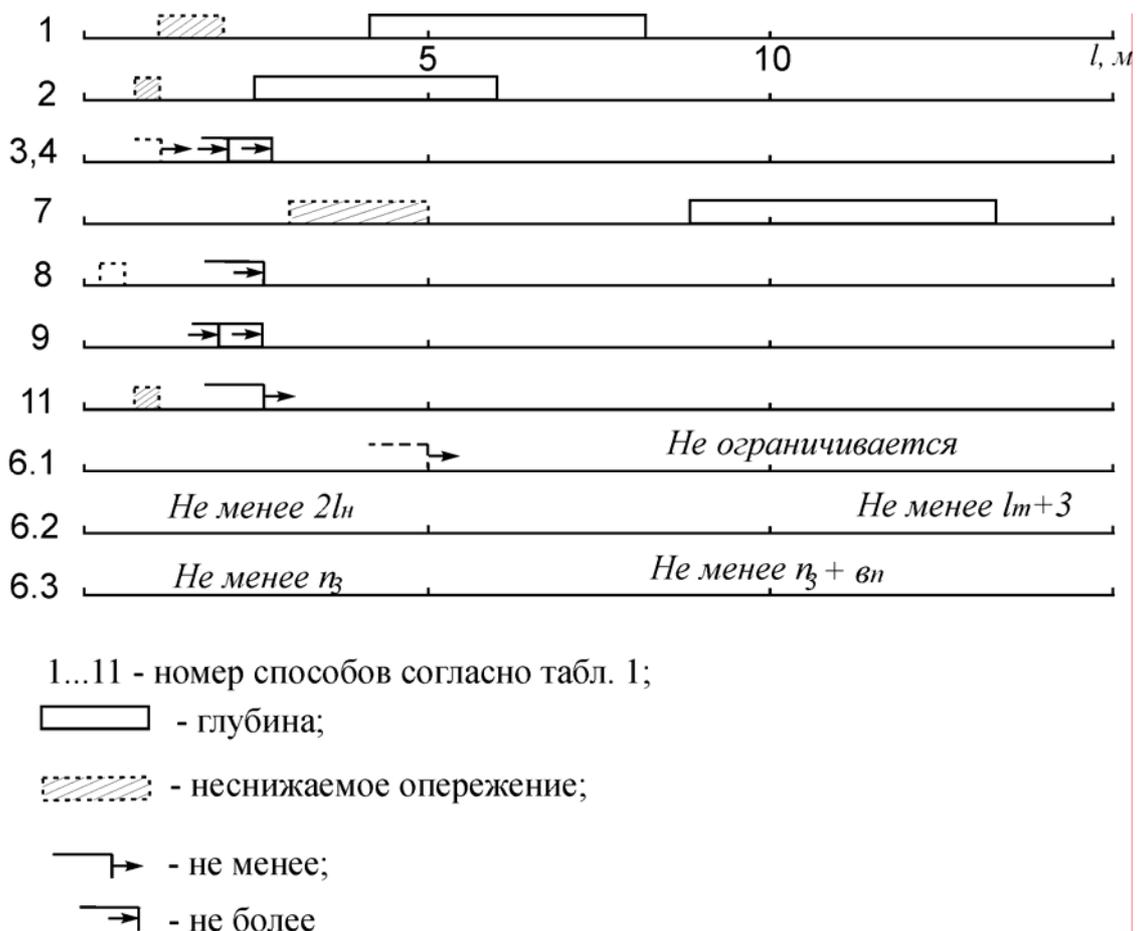


Рис. 2. Глубина внедрения в угольный пласт и величина неснижаемого опережения при применении локальных способов предотвращения ГДЯ

Как видно из представленных данных, глубина внедрения в угольный пласт при применении способов предотвращения, основанных на образовании разгрузочных пазов и щелей, не превышает 2 - 3 м, гидрорыхления и гидроотжима – составляет 2, 3 – 8 м и лишь при использовании опережающих и дегазационных скважин и торпедирования может значительно превышать указанные величины. Сопоставим эти значения с расстоянием до максимума опорного давления, составляющим, как известно, $l_m = (2...6)m_e$ (m_e – вынимаемая мощность пласта). Для пластов мощностью 0,7...2 м величина l_m будет находиться в общих пределах от 1,4 – 4,2 до 4 – 12 м. Таким образом, большинство локальных способов предотвращения ГДЯ выполняется на участках пласта, расположенных до или в районе максимума опорного давления.

С точки зрения геомеханики эти участки расположены в за-предельной зоне деформирования пласта (см. рис. 1). Проводимые локальные мероприятия вызывают мгновенное уменьшение жёсткости пласта в точке А, и локальный избыток энергии (с двойной штриховкой) приводит к внезапному выдавливанию угля, а нередко и внезапному выбросу угля и газа.

По этой причине почти все локальные мероприятия выполняются с мерами безопасности, предусмотренными СОУ... [1], основной из которых является дистанционное управление механизмами по осуществлению локальных мероприятий (бурение скважин, нарезка пазов).

Геомеханически необоснованным параметром локальных способов предотвращения ГДЯ является и величина неснижаемого опережения. Из табл. 1 и рис. 2 видно, что величина неснижаемого опережения при всех способах, за исключением опережающих скважин для предотвращения внезапных выдавливаний угля, не превышает 5 м. Это значит, что выполнение очередной серии мероприятий производится на самом опасном участке пласта – в зоне максимума опорного давления, не обработанном предыдущей серией мероприятий, т.е. при повышенной газодинамической активности пласта. Это приводит, как отмечено выше, к местному изменению жёсткости пласта, локальному выделению избытка энергии и описанным выше последствиям.

Всё это позволяет объяснить неэффективность многих локальных способов предотвращения ГДЯ с нормативными параметрами, которая отражена в статистических данных, приведенных в начале статьи. Необходимо обратить внимание на тот факт, что многие газодинамические явления (в первую очередь выдавливания угля) небольшой интенсивности (до 50-70 т угля и до 250-300 м³ газа), произошедшие при выполнении способов предотвращения угля, главным образом – гидрорыхления, отражаются лишь в рабочей документации шахты, а к учёту и регистрации не представляются.

Рассмотрим один из наиболее распространённых способов предотвращения ГДЯ – бурение опережающих скважин, при применении которых, как уже отмечалось, произошла половина всех ГДЯ, произошедших при использовании способов их предотвращения.

Основные недостатки способа бурения опережающих скважин, свойственны большинству локальных способов предотвращения ГДЯ: недостаточная глубина и недостаточная величина неснижаемого опережения (5 м); отсутствие методов контроля безопасности в процессе бурения скважин.

Исходя из геомеханических представлений, опережающие скважины необходимо бурить на глубину, превышающую максимум опорного давления (на возможно большую величину). При этом угольный пласт впереди забоя, ослабленный скважинами, под влиянием опорного давления получит дополнительное разрушение. В результате снизится максимальное сопротивление пласта и модуль спада, т.е. пласт в призабойной зоне будет деформироваться в жёстком режиме без динамических процессов. Длина опережающих скважин не ограничивается. Она определяется техническими характеристиками буровой техники.

Минимальная глубина опережающих скважин $L_{min} \geq 2l_n$, минимальный диаметр скважин $D_{min} \geq 80$ мм. Расстояние между скважинами определяют опытным путём.

Величина неснижаемого опережения определяется из следующих соображений: к началу бурения очередной серии скважин зона максимума опорного давления впереди забоя должна быть обработана предыдущей серией скважин, т.е.

$l_n \geq l_m + \Delta$ ($\Delta = 2-3$ м – запас, учитывающий погрешность при определении расстояния до l_m и протяжённость зоны максимального опорного давления). Остальные параметры способа бурения опережающих скважин, включая их диаметр и расстояние между, ними отрабатываются опытным путём.

Необходимым условием применения опережающих скважин является контроль безопасности в период бурения скважин. Одним из способов контроля (проверенным на практике), является способ, основанный на параметрах техногенного акустического сигнала, регистрируемого непосредственно в процессе бурения скважин. Возможны и другие способы.

Способ предотвращения ГДЯ бурением опережающих скважин с разработанными параметрами [7] успешно применяется в АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» в течение нескольких лет.

Он принят для предотвращения внезапных выдавливания угля в отраслевом стандарте Украины [1]. Однако для предотвращения внезапных выбросов угля и газа параметры опережающих скважин остались без изменения.

Вывод. Выполненный геомеханический анализ локальных способов предотвращения ГДЯ позволяет определить пути их дальнейшего совершенствования: увеличение глубины внедрения в угольный массив за максимум опорного давления; повышение величины неснижаемого опережения; обеспечение контроля безопасности в процессе выполнения способов.

СПИСОК ССЫЛОК

1. СОУ 10.1.00174088.011 – 2005 Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. – Введ. 01.04.2006. – 224 с.
2. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
3. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 271 с.

4. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкций крепей. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
5. Глушко В.Т., Виноградов В.В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. – М.: Недра, 1982. – 192 с.
6. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.А. Михеев, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. – 269 с.
7. Пат. 68676 А. України, МКИ Е 21F 5/00. Спосіб запобігання газодинамічних явищ / І.А. Южанін, Е.І. Тимофєєв, В.П. Євдокимова, М.Ф. Рижков (Україна); МакНДІ - № 2003098733; Заявл. 25.09.03; Опубл. 16.08.04. Бюл. № 8. – 4 с.