

УДК 622.831

**Ю.Г. Анпилогов, В.Н. Королева**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ ВЫБРОСООПАСНОЙ УГЛЕННОЙ ТОЛЩИ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

*Рассмотрена заблаговременная региональная подготовка шахтных полей на основе изменения свойств и состояния угленосной толщи, в частности вмещающих пород, путем гидродинамического воздействия через скважины, пробуренные с поверхности.*

*Ключевые слова: региональная подготовка, выбросоопасность, гидродинамическое воздействие, безопасность.*

**П**ри разработке высокогазонасыщенных и выбросоопасных угольных пластов и невозможности их защиты подработкой-надработкой, что особенно характерно для пластов пологого падения, единственной возможностью их эффективной и безопасной разработки остается заблаговременная региональная подготовка на основе изменения свойств и состояния угленосной толщи путем гидродинамического воздействия через скважины, пробуренные с поверхности. При этом тем или иным воздействиям могут быть подвергнуты не только угольные пласты, но и вмещающие породы, свойства и состояние которых необходимо изменить, поскольку (по мнению большинства отечественных и зарубежных ученых) определяющими условиями возникновения внезапных выбросов, являются упругие силы сжатого газа и горных пород, а также физико-механические свойства угля.

Исследованиями ученых Московского государственного горного университета (МГГУ) доказано, что для предотвращения внезапных выбросов необходимо управлять напряженным

состоянием угольного пласта путем перераспределения в нем напряжений за счет изменения прочностных, деформационных и фильтрационных свойств угля, а также и вмещающих пород на основе гидрорасчленения через скважины, пробуренные с поверхности (ГРП).

Впервые в угольной промышленности гидрорасчленение песчаника основной кровли особовыбросоопасного угольного пласта  $h'_6$  было произведено на поле шахты им. А.А.Скочинского в Донбассе по проекту, разработанному учеными МГГУ. В табл. 1 приведены показатели процесса гидрорасчленения песчаника через скважины №1, 3, 5 и 6, а в табл. 2 – показатели процесса гидрорасчленения глинистых сланцев основной кровли на поле шахты им. К.А. Румянцева.

Для анализа изменения проявлений горного давления в очистном забое при гидрорасчленении песчаника основной кровли проводились следующие исследования:

1. Оценка физико-механических свойств пород непосредственной и основной кровли (рабочая влажность, предел прочности на сжатие и растяжение).

Таблица 1

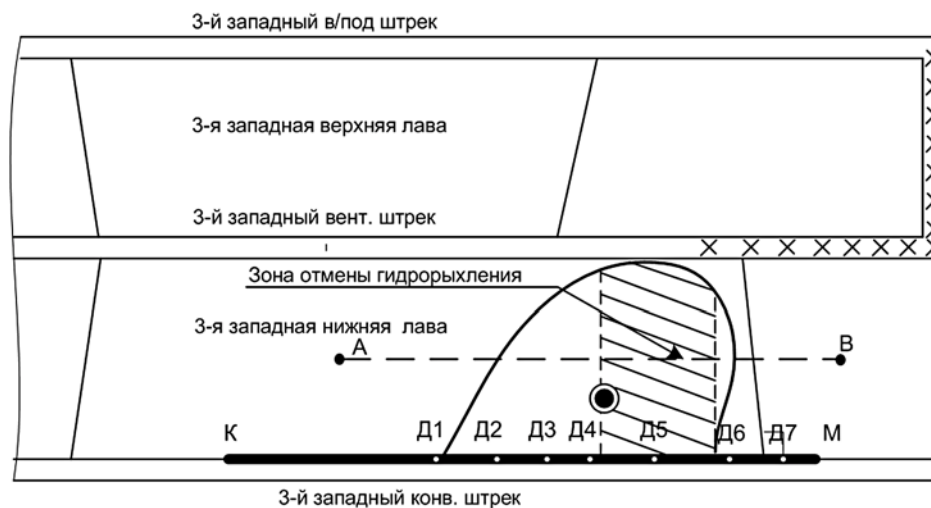
**Показатели процесса гидрорасчленения**

№№ скв.	Наименование индекса породы и их мощность	Глубина, м	Давление, МПа		Темп нагнетания, м <sup>3</sup> /с		Рабочая жидкость	Объем закачки, м <sup>3</sup>
			min	max	min	max		
№1	h <sub>6</sub> SH <sub>5</sub> <sup>0</sup> m=16 м	948	17	23,3	0,00 3	0,05 2	вода	1000
№3	h <sub>6</sub> SH <sub>5</sub> <sup>0</sup> m=14 м	1015	18	34,0	0,00 5	0,03 3	вода	1000
№6	h <sub>4</sub> Sh <sub>6</sub> m=63 м	1135	22	28,0	0,00 7	0,04 2	вода	350
№6	h <sub>4</sub> Sh <sub>6</sub> m=63 м	1100	20	33,0	0,00 7	0,05 0	вода	1000

Таблица 2

**Показатели гидрорасчленения глинистых сланцев основной кровли (шахта им. Румянцева)**

№№ скв.	Наименование вмещающих пород и их мощность, м	Глубина вскрытия, м	Давление на забое скважины, МПа		Темп нагнетания, м <sup>3</sup> /с		Рабочая жидкость	Объем закачки, м <sup>3</sup>
			min	max	min	max		
2	Песчаный сланец m=18	850	21, 0	35,0	0,02 1	0,03 3	вода	800
3	Песчаный сланец m=20	780	20, 0	22,5	0,01 8	0,03 5	вода	2500
3	Песчаный сланец m=20	820	19, 0	22,0	0,01 8	0,03 5	вода	1000



Д1.....7 – места бурения дегазационных скважин с отбором керна песчаника;  
 АВ – линия замеров конвергенции пород непосредственной кровли и динамики газовыделения из шпуров; КМ – участок замеров смещения контура выработки

**Рис. 1 Схема расположения замерных станций**

Таблица 3

**Физико-механические характеристики вмещающих пород**

Наименование пород	Предел прочности на сжатие, $\sigma_{сж}$ , МПа	Количество замеров	Предел прочности на растяжение, $\sigma_{раст}$ , МПа	Количество замеров	Влажность, %	Количество замеров	Устойчивость
Песчаник	<u>54,6-82,8</u> 71,4	15	<u>7,0-9,2</u> 7,5	12	0,57	8	-
Песчаный сланец	<u>19,7-106,0</u> 52,9	39	<u>30-36</u> 34	16	1,02	14	-
Глинистый сланец	<u>23,9-75,0</u> 46,8	43	<u>26-36,2</u> 30	25	1,48	16	среднеустойчивая
Глинистый сланец «кучерявчик»	<u>18,9-51,8</u> 32,7	17	<u>24-36</u> 28	14	1,20	12	устойчивая
Песчаный сланец	<u>13,5-103,4</u> 56,8	21	<u>28-38</u> 32	18	1,18	18	-
Песчаник	<u>46,2-180,1</u> 112,6	28	<u>5,6-9,4</u> 8,0	19	0,63	12	-

2. Измерение конвергенции пород непосредственной кровли (величины и скорости смещения) измерительными стойками типа СУИ-11).

3. Определение характеристик опорного давления (изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород по замерам скорости газовыделения из контрольных шпуров).

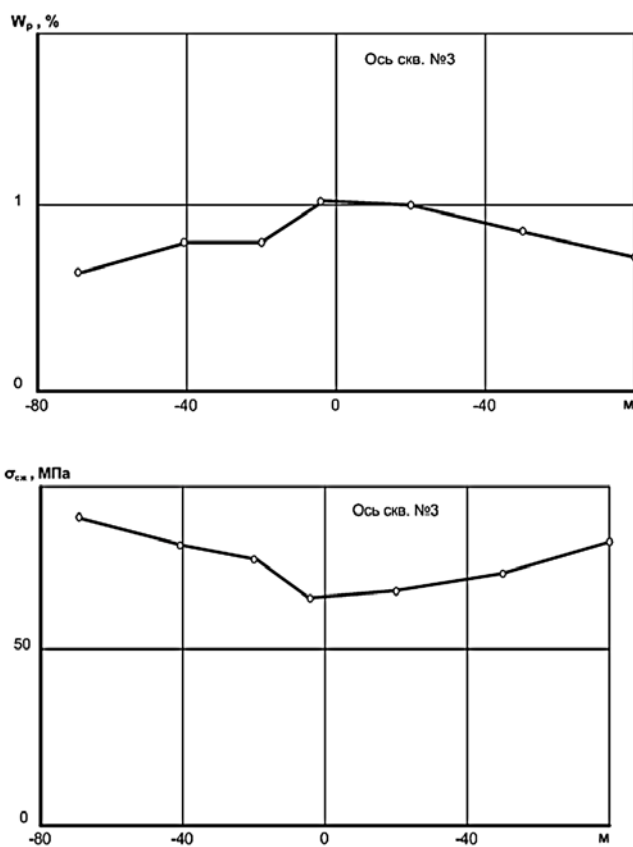
4. Определение шага посадки основной кровли (момент обрушения пород основной кровли фиксировался двумя способами: по изменению концентрации метана в исходящей струе воздуха участка; по замерам смещений элементов арочной крепи).

На рис. 1 показано расположение замерных станций и линий наблюдения за параметрами, характеризующими проявления горного давления в очистном забое.

В непосредственной кровле угольного пласта залегает глинистый сланец мощностью 1,8—3,4 м, далее над

ним песчаный сланец мощностью до 6 м, а выше залегает выбросоопасный песчаник  $h_6SH_5^0$  мощностью от 8 до 15 м. Непосредственная кровля относится к кровлям средней устойчивости. В почве пласта залегает песчаный сланец – «кучерявчик» мощностью до 1 м, далее песчаный сланец мощностью 0,6-13,5 м, который постепенно переходит в выбросоопасный песчаник  $h_4Sh_6$ , мощность которого до 69 м. Физико-механические характеристики вмещающих пород представлены в табл. 3.

Изменение влажности и прочности песчаника  $h_6SH_5^0$  в зависимости от расстояния до оси скважины показано на рис. 2 и 3. Доверительная вероятность исследований 85 % при 10 % точности измерения. Коэффициент вариации не превышал 23 %. Незначительное увеличение влажности и снижение прочности в зоне гидрорасчленения – результат того, что жидкость после гидрорасчленения



**Рис. 2, 3. Изменение влажности и прочности песчаника  $h'_6SH^0_5$  в зависимости от расстояния до оси скважины**

песчаника была откачена из скважины с целью предотвращения проникновения жидкости из основной кровли в непосредственную кровлю, чтобы не вызвать потерю ее устойчивости и не нарушить работу очистного оборудования.

Изучение физико-механических свойств пород непосредственной кровли пласта  $h'_6$  в зоне и вне зоны влияния гидрорасчленения позволило сделать вывод о том, что гидрорасчленение монолитных пород основной кровли, при правильно выполненных технологических параметрах способа, практически не влияет на

состояние непосредственной кровли в очистном забое. В табл. 4 показано изменение физико-механических свойств пород непосредственной кровли пласта  $h'_6$  по трем лавам, работавшим в зонах гидрорасчленения.

Из таблицы видно, что влажность пород непосредственной кровли увеличилась в среднем с 1,31 % до 1,37 %, не отмечалось также значительного снижения прочностных свойств ( $\sigma_{сж}$  уменьшилось всего на 1 %, а  $\sigma_{раст}$  – на 2 %), что не может привести к существенной потере устойчивости кровли.

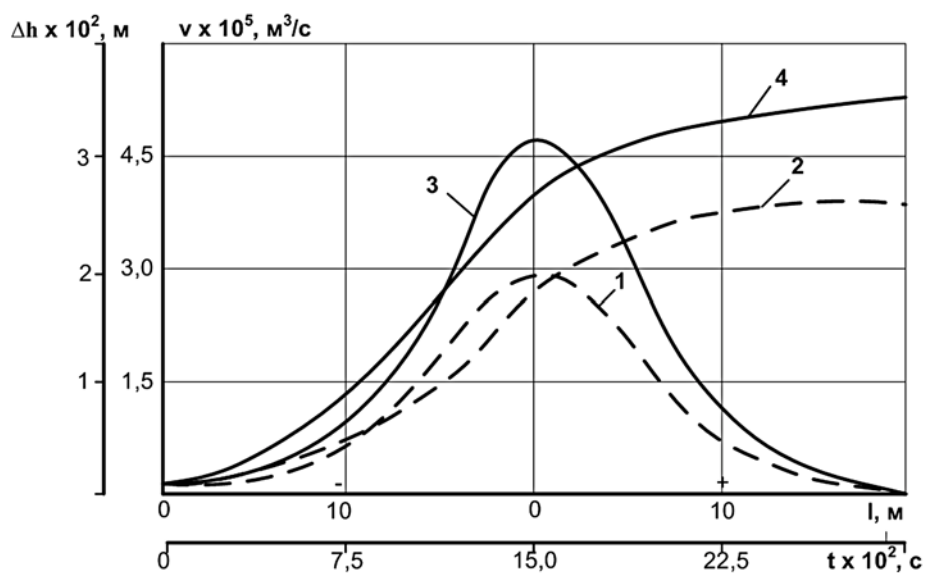
На рис. 4 представлены графики изменения скорости смещения, а также абсолютных величин смещений в зоне и вне зоны гидрорасчленения. Измерение конвергенции пород непосредственной кровли позволяет судить о влиянии длины зависающей консоли основной кровли на динамику движения пород непосредственной кровли. Снижение скорости конвергенции пород непосредственной кровли на 38-40 % в зоне гидрорасчленения основной кровли свидетельствует о значительной разгрузке угольного массива.

Важными характеристиками напряженного состояния массива являются параметры опорного давления. Положение точки максимума опорного давления можно определить по изменению скорости газовыделения из контрольных шпуров.

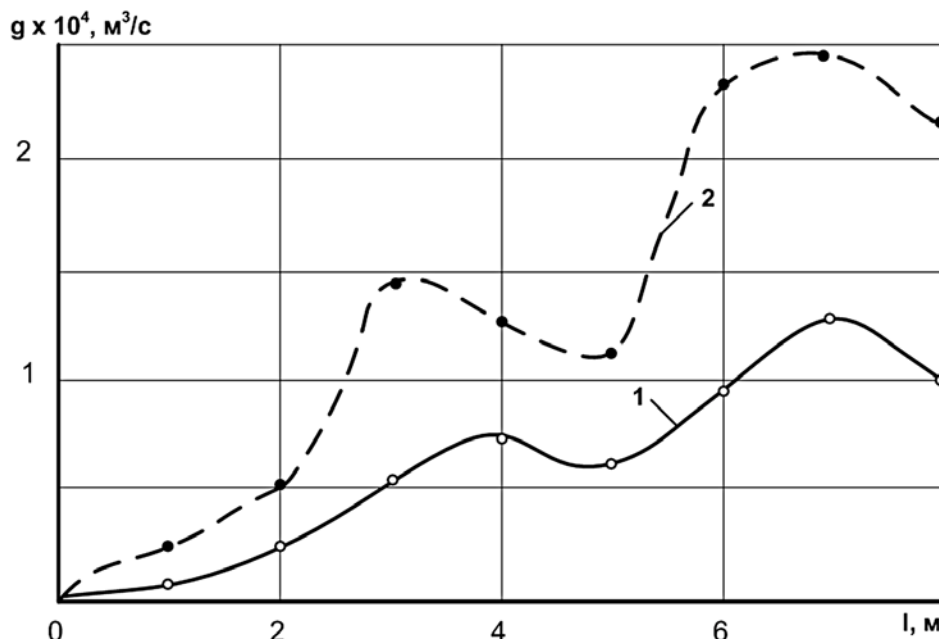
Таблица 4

**Прочностные свойства пород непосредственной кровли пласта  $h_6$  в зонах и вне зон скважин гидрорасчленения (шахта им. А.А. Скочинского)**

Место отбора проб	Влажность		Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$		Предел прочности на растяжение $\sigma_{раст}$	
	Среднее значение, %	Количество замеров	Среднее значение, МПа	Количество замеров	Среднее значение, МПа	Количество замеров
3 зап. лава ЦП (нижняя) в зоне скв. №3 (7Т)	1,51	15	30,4	25	4,5	21
то же вне зоны	1,73	17	30,7	56	3,9	42
1 зап. лава ЦП (нижняя) в зоне скв. №2 (5Т)	1,48	16	34,7	15	4,7	16
то же вне зоны	1,44	13	36,4	14	5,0	18
2 обр. зап. лава ЦП в зоне скв. №2 (5Т)	1,29	18	28,8	20	3,6	18
то же вне зоны	1,16	16	30,3	17	3,8	27
Средняя величина						
В зонах гидрорасчленения	1,37		32,0		4,2	
Вне зон гидрорасчленения	1,31		32,3		4,3	



**Рис. 4. Изменение скорости смещения, а также абсолютных величин смещений в зоне и вне зоны гидрорасчленения: 1, 2 — график изменения скорости и абсолютных величин смещений в зоне ГРП, 3, 4 — график изменения скорости и абсолютных величин смещений вне зоны ГРП**



**Рис. 5.** Изменение начальной скорости газовыделения  $g_n$  по длине контрольных шпуров в зоне и вне зоны гидрорасчленения: 1 — в зоне гидрорасчленения пород основной кровли; 2 — в необработанной зоне

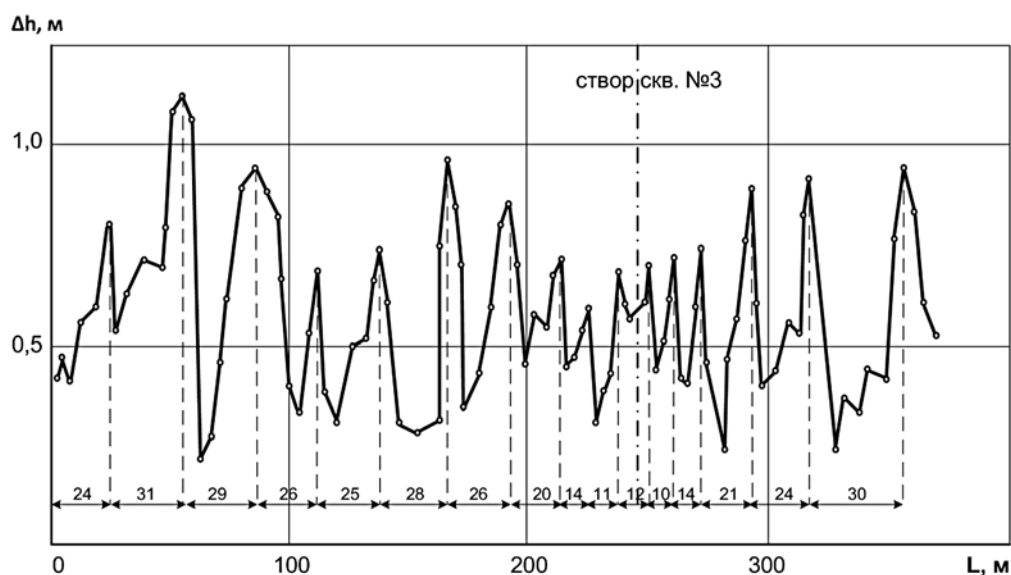
На рис. 5 представлен график изменения начальной скорости газовыделения  $g_n$  по длине контрольных шпуров в зоне и вне зоны гидрорасчленения, построенный по средним значениям величины  $g_n$  по каждому интервалу.

Кривая изменения начальной скорости газовыделения вне зоны гидродинамической обработки пород основной кровли имеет два ярко выраженных максимума. График изменения начальной скорости газовыделения в зоне обработки пород основной кровли отличается значительным сглаживанием первого максимума и переносом его вглубь массива угля. Первый максимум в необработанной зоне равен  $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  и находится на расстоянии 3 м от забоя, второй максимум —  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  находится в 7 м от забоя. В обработанной зоне величины начальной скорости газовыделения значительно ниже: первый максимум —

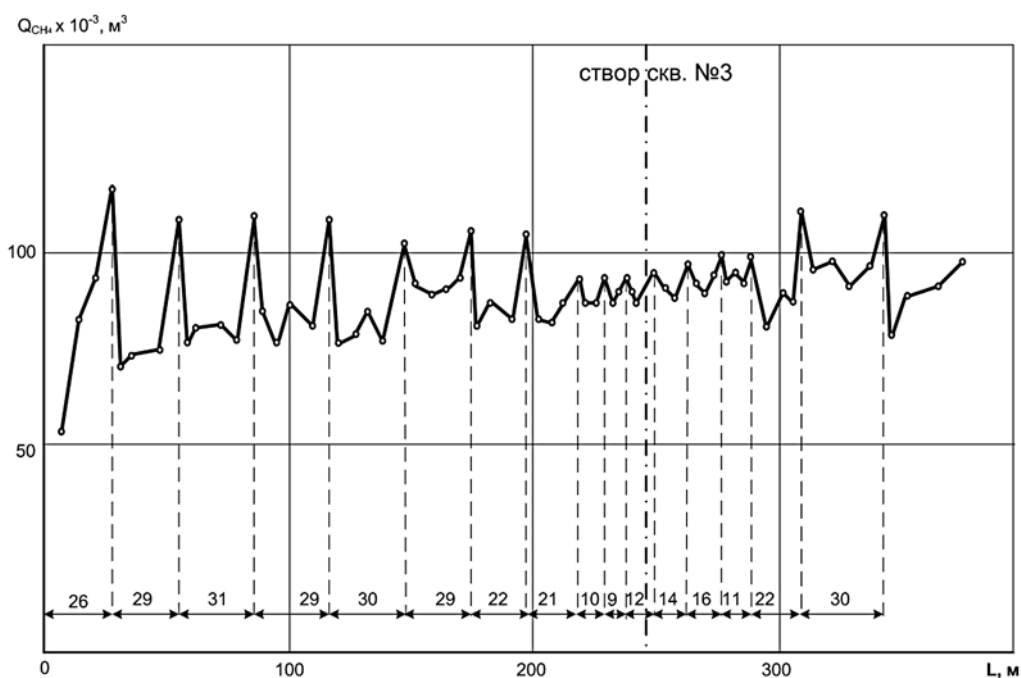
$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  находится на расстоянии 4 м от очистного забоя, второй — на 7 м, но его величина всего  $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Анализируя графики на рис. 5 можно отметить, что в зоне влияния скважины, через которую проведено гидрорасчленение песчаника основной кровли  $h_6SH^0_5$ , произошла значительная разгрузка массива, а также его дегазация.

Одним из основных показателей эффективности гидрорасчленения монолитных горных пород основной кровли является изменение шага обрушения основной кровли, размеры которого во многом определяют параметры опорного давления. На рис. 6 приведен график изменения смещений контура выработки по длине конвейерного штрека. По максимальным значениям величин смещений определялись моменты обрушения пород основной кровли.



**Рис. 6.** Изменение смещений контура выработки по длине конвейерного штрека



**Рис. 7.** Изменение количества выделившегося метана на исходящей струе 3-й западной нижней лавы Ц.П. шахты им. А.А. Скочинского

В необработанной зоне шаг обрушения пород основной кровли составил 26—32 м. Величины смещений

контура выработки достигали 1 м, тогда как в зоне влияния скважины, через которую был обработан песчаник

$h_6^0 SH_5^0$ , при максимальных величинах смещения до 0,7 м шаг обрушения был 9—16 м.

На рис. 7 представлен график изменения количества выделившегося метана на исходящей струе 3-1 западной нижней лавы Ц.П. шахты им. А.А.Скочинского.

Максимальные значения выделившегося метана указывают на моменты обрушения пород основной кровли, представленных в данных условиях газоносным песчаником. В прискважинной зоне наблюдалось заметное снижение количества выделяющегося метана, что указывает на частичную дегазацию угленосной толщи скважиной гидрорасчленения.

Изменения шага обрушения, выполненные двумя способами, показали достаточно высокую сходимость результатов. Расхождения составляли не более 10 %.

Таким образом, проведенный комплекс исследований показал, что при гидрорасчленении пород основной кровли происходит значительное изменение основных параметров, характеризующих напряженное состояние выбросоопасного пласта. Изменение напряженного состояния выбросоопасного угольного пласта, значительная его разгрузка и дегазация послужили основанием для отмены в 3-ей западной лаве ц.п. локальных противовыбросных мероприятий (гидрорыхление) на участке после подработки скв. №3. До перехода створа скв. №3

очистными работами в лаве выполнялись все противовыбросные мероприятия, а также осуществлялся контроль за их эффективностью. После подработки скважины на участке длиной 90 м по простиранию проводилась лишь выемка ниш в режиме сотрясательного взрывания. На рис. 1 зона отмены противовыбросных мероприятий заштрихована. Возможность отмены противовыбросных мероприятий в зоне влияния скв. №3, через которую было проведено гидрорасчленение песчаника основной кровли пласта  $h_6$ , указывает на высокую эффективность данного способа управления напряженным состоянием выбросоопасного угольного пласта. Однако гидрорасчленение пород основной кровли не всегда возможно, особенно на пластах с неустойчивыми породами непосредственной кровли, что требует дополнительных исследований.

Таким образом, установлено, что в зоне гидрорасчленения песчаника основной кровли  $h_6^0 SH_5^0$  его влажность увеличилась на 20-22 %, прочность ( $\sigma_{сж}$ ) снизилась на 27-29 %; шаг обрушения основной кровли уменьшился на 45-40 % и составил: в зоне ГРП – 9-16 м, вне зоны – 26-32 м; точка максимума опорного давления переместилась вглубь массива на 0,8-1,2 м; скорость конвергенции пород непосредственной кровли уменьшилась на 38-40 %, что послужило основанием для отмены в зоне ГРП локальных противовыбросных мероприятий. **ГИАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

Анпилогов Юрий Григорьевич – доцент,  
Королева Валентина Николаевна — доктор технических наук,  
Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru.

