

новленная для всего месторождения или его части при проведении детальных геологоразведочных работ и использовании для подсчета балансовых запасов.

Определение в процессе ведения горных работ фактических размеров горных выработок и опорных целиков производится на основании непосредственных маркшейдерских замеров. Определение средней мощности защитных пачек в кровле и почве камер производится по данным контрольного бурения.

Данные по средней мощности пласта используются для расчетов показателей извлечения и потерь полезного ископаемого после отработки участков шахтных полей, охватывающих несколько выемочных единиц (две и более). Средняя мощность пласта на выемочном участке определяется среднеарифметическим способом из ее частных значений.

Многолетними работами ИГТМ им. Н.С. Полякова на Артемовской гипсовой шахте обеспечены все необходимые и достаточные данные для применения разработанной «Инструкции...». Ее положения распространены на месторождения гипса Бебьевское и Анастасово-Порецкое, находящиеся в Российской Федерации.

УДК 622. 283

И.А. Ефремов, Б.В. Бокий,
А.А. Цикра, Ю.С. Опрышко

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА МОНИТОРИНГА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Надаються підсумки інструментальних досліджень за зрушенням порід покрівлі в конвейерному штреку з застосуванням глибинних реперів. Доведено, що активізація зрушень порід навколо виробки є наслідком змінення напруженого стану масива в регіональному масштабі, що зафіксовано по стрибку сейсмоакустичної емісії в 2,4-2,6 рази.

INTEREFFECT BETWEEN ROCK PRESSURE MANIFESTATION ON THE CASE OF UNDERGROUND ROADWAY GEOMECHANIC STATE MONITORING

Results of roof subsidence monitoring in head entry has been presented. It was proved that activation of ground moving was triggered by stress increase in rock mass. This stress activation was a result of ground movement in vicinity of adjacent faults. This stress increase has been registered with seismic emission activation by 2.4-2.6 times.

Отработка запасов угля и других полезных ископаемых на глубинах более 1000 м и всегда связана с необратимыми проявлениями горного давления. Это затрудняет понимание взаимосвязи между сдвигами массива горных пород и действующими в нём напряжениями [1]. В процессе упругого деформирования массива связь между напряжениями и деформациями однозначна и реализуется в кратчайшее время. В том же случае, когда горное давление вызывает необратимые деформации вмещающих пород, однозначная связь между горным давлением и сдвигами теряется, а причины и следствия меняются местами. В процессе развития горных работ в пределах шахтного поля такие изменения происходят мно-

гократно, в результате чего полная картина нагружения вмещающих пород становится труднообъяснимой. В последствиях деформирования горного массива весьма сложно разобраться. Наиболее существенные изменения происходят в течение периода формирования месторождения. Всё это затрудняет оценку состояния массива пород, ограничивает возможности прогнозирования негативных проявлений горного давления и приводит к неэффективному, а иногда и неверному выбору практических мероприятий по управлению состоянием массива горных пород.

В качестве примера приведем проблему оценки зон проявления горного давления на угольных пластах, имеющих невыдержанную гипсометрию и пликативные мелкоамплитудные нарушения [2]. При решении этой проблемы была выдвинута гипотеза о том, что в местах, где кривизна поверхности угольного пласта превышает критическую величину, устойчивость подготовительных работ и непосредственной кровли в очистных забоях ухудшается, а вероятность газодинамических явлений повышается. Доказательство достоверности выдвинутой гипотезы осуществлялось путем сравнения обобщенного показателя кривизны поверхности угольного пласта с действующими в настоящее время механическими напряжениями. Была установлена тесная корреляционная связь между областями повышенной кривизны и повышенными величинами компонент напряжений, действующих в массиве в настоящее время. Такой результат вполне согласуется с общими представлениями о геомеханике массива горных пород, нарушенного мелкоамплитудными пликативами.

Вместе с тем связь между величиной кривизны поверхности пласта и действующими в настоящее время напряжениями не может быть однозначной по следующим причинам. Кривизна пластов пород формировалась в течение многих геологических эпох. При этом кривизна порождалась не только тектоническими подвижками земной коры, но и другими геологическими процессами, в частности неравномерностью осадконакопления, размывами седиментов древними потоками и т.п. Кроме того, в процессе изгибов толщи осадочных пород возникают запредельные состояния и пластические деформации, которые приводят к разгрузке отдельных компонент напряжений и снижению уровня напряжённого состояния в целом. На больших глубинах залегания протекают релаксационные процессы и процессы ползучести, которые также могут менять напряженное состояние. Кроме того, направление тектонических подвижек земной коры менялась в пространстве и во времени, в результате чего современная кривизна пластов пород является следствием действия множества циклов нагружения и разгрузки, причем практически во всех циклах имеют место запредельные неупругие деформации толщи. Это усложняет и искажает связь между историей изменения горного давления и сдвижением массива горных пород.

Таким образом, современная кривизна угольного пласта, как правило, не является результатом только действующих современных напряжений. Это значит, что связь между установившимся горным давлением и кривизной поверхности пластов, которая является итогом нескольких геологических периодов активизации складчатости, не является однозначной. К использованию её для подтверждения достоверности выдвинутой гипотезы следует подходить с учётом

вышеуказанных обстоятельств.

Проблема взаимосвязи горного давления и сдвижений массива горных пород является весьма сложной и для её решения необходимо изыскивать новые методологические подходы.

Закономерности изменения размеров указанной зоны, а также особенности перераспределения напряжений и деформаций внутри зоны изучались многими исследователями. При этом было установлено, что необратимые сдвижения пород чаще всего происходят в зоне неупругих деформаций вокруг подготовительной выработки. Исследовано большое число эффектов, основными из которых можно назвать: несимметричность формы и размеров зоны, вызванные влиянием слоистости массива; неоднородность свойств вмещающих пород; неравнокомпонентность напряженного состояния; неодинаковость отпора крепи по контуру работки и т.д. Установлено явление зональной дезинтеграции вмещающих пород вокруг подготовительных выработок, при протекании которой зоны разрушения чередуются с зонами нетронутого массива. Показано, что в процессе развития необратимых сдвижений вокруг подготовительной выработки многократно реализуется эффект самозаклинивания ранее разрушенных пород. Изученные явления и эффекты могут быть использованы как надежная база для анализа процесса развития сдвижений вокруг подготовительной выработки.

В качестве примера приведем результаты мониторинга сдвижений пород кровли при проведении конвейерного штрека 15-бис восточной лавы пласта m_3 шахты им. А.Ф. Засядько. Готовилась лава для отработки обратным ходом длинного (1100 м) столба по простирацию пласта мощностью 1,3-1,4 м, глубина залегания 1220 м. В кровле пласта залегает аргиллит неустойчивый с пределом прочности на одноосное сжатие 30-40 МПа. В почве пласта алевролит, склонный к пучению. Вентиляционный и конвейерный штреки поддерживаются в нетронутом массиве (рис. 1).

Конвейерный штрек проходил комбайновым способом со скоростью до 120 м/мес. сечением в свету 18 м². Комбинированная рамно-анкерная крепь с использованием 10-11 сталеполимерных анкеров устанавливалась через 0,8 м. В штреке было оборудовано пять станций (табл. 1) для наблюдения за сдвижением пород кровли. Для этого в кровлю выработки бурились шпуров диаметром 32 мм на глубину от 3,0 до 8,2 м, в которые вставлялись от 5 до 9 глубинных реперов с гибкими тягами. Перемещение концов гибких тяг измеряли относительно кондукторов в устьях шпуров, что позволяло определить расширение (суммарную величину трещин) отдельных интервалов между соседними глубинными реперами и общее смещение пород кровли.

На рис. 2 показан характер разуплотнения отдельных интервалов массива горных пород в кровле выработки в процессе отхода подготовительного забоя от замерных станций. Справа на легенде рисунка указаны начальные границы интервалов слоёв пород и их ширина с учётом расширения на настоящий момент. (Например, интервал залегает от свода выработки на высоте 1402—2301 мм, его ширина увеличилась с 899 до 902 мм. Самый нижний интервал, первый от свода выработки до 504 мм расширился с 504 до 678 мм.)

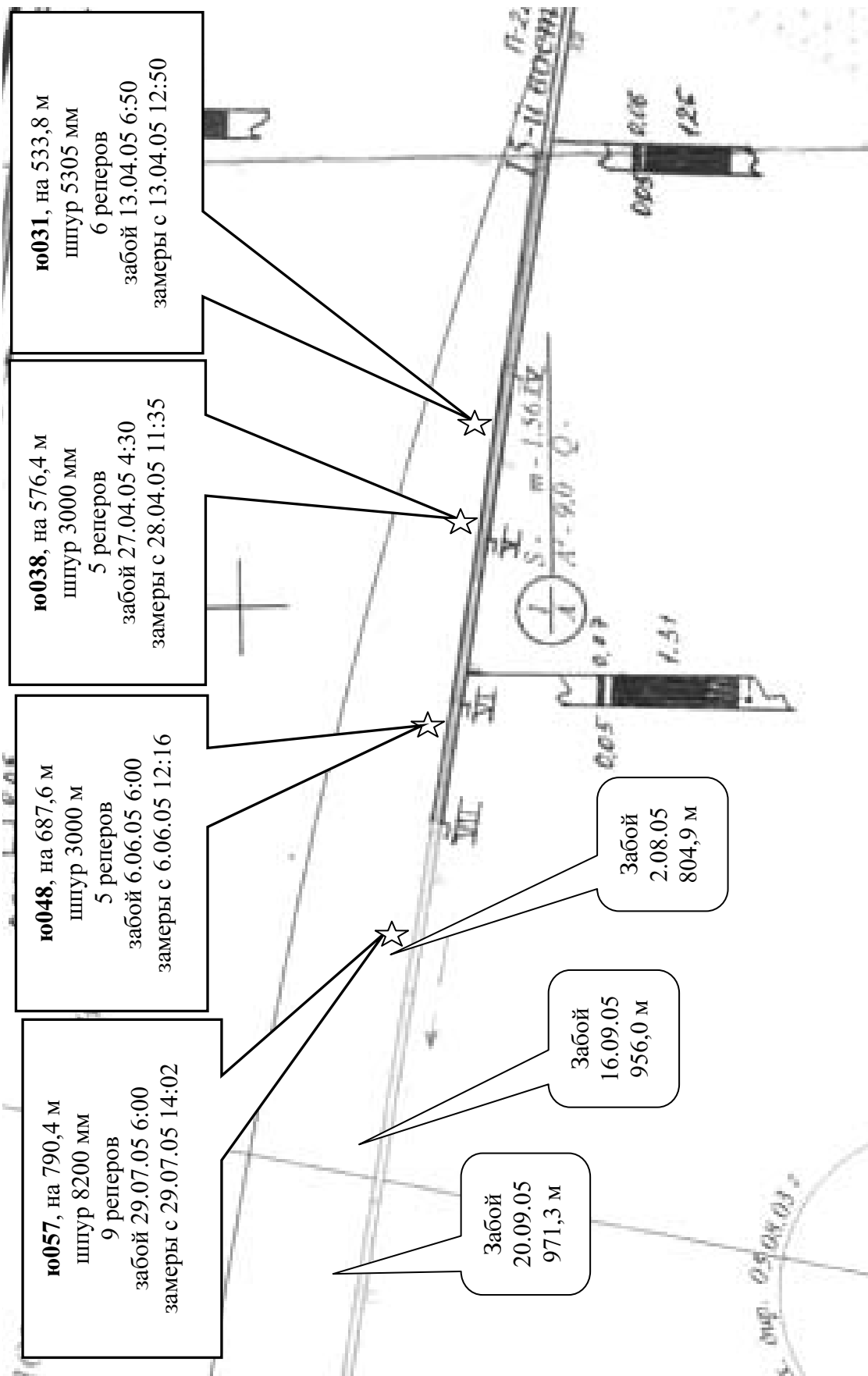


Рис. 1 — Фрагмент плана горных выработок при подготовке 15-бис восточной лавы
Места установки замерных станций

Таблица 1 — Характеристика станций для замеров смещений кровли

Номер замерной станции, расстояние от начала штрека, м	Время обнажения пород и начала замеров	Период сейсмической активности	Расстояние до забоя, м	Глубина реперов, мм	Расширение слоёв, мм	Скорость смещений, мм/сут.
ю031 на 533,8 м, шпур 5305 мм, 6 реперов	13.04.05 06:50 13.04.05 12:50	от 155,14 сут.		5305	4 — 4	0,00 — 0,00
		с 15.09.05 10:10	418,7	4105	3 — 3	0,00 — 0,00
		через 1,00 сут.		3205	2 — 2	0,00 — 0,00
		16.09.05.10:14	422,2	2305	3 — 3	0,00 — 0,00
		через 4,00 сут.		1405	31 — 31	0,00 — 0,00
20.09.05 10:15	437,5	505	161 — 164	1,00 — 0,75		
		до 160,14 сут		К	204 — 207	1,00 — 0,75
ю038 на 576,4 м, шпур 3000 мм, 5 реперов	27.04.05 04:30 28.04.05 11:35	от 141,25 сут.		3000	15	0,00
		с 15.09.05 10:27	376,1	2200	0	0,00
		через 0,99 сут.		1600	2	0,00
		16.09.05 10:18	379,6	900	0	0,00
		до 142,24 сут.		500	44	2,01
				К	61	2,01
ю048 на 687,6 м, шпур 3000 мм, 5 реперов	06.06.05 06:00 06.06.05 12:16	от 101,19 сут.		3000	9	0,00
		с 15.09.05 10:38	264,9	2200	10	0,00
		через 0,99 сут.		1600	11	0,00
		16.09.05 10:27	268,4	900	11	0,00
		до 102,19 сут.		500	74	2,02
				К	115	2,02
ю057 на 790,4 м, шпур 8200 мм, 9 реперов	29.07.05 06:00 29.07.05 14:02	(от 29,22 сут.		8200	0 — 0	0,00 — 0,00
		с 27.08.05 11:18	94,6	7200	93 — 93	4,90 — 0,00
		через 18,98 сут.)		6300	0 — 0	0,00 — 0,00
		15.09.05.10:54	162,1	5400	0 — 0	0,00 — 0,00
		через 0,99 сут.		4500	0 — 0	0,00 — 0,00
		16.09.05 10:37	165,6	3600	0 — 0	0,00 — 0,00
		до 49,19 сут.		2600	0 — 0	0,00 — 0,00
				1800	17 — 17	0,00 — 0,00
				900	112 — 112	0,37 — 0,00
		К	222 — 222	5,27 — 0,00		

Необходимо отметить, что при отходе забоя от замерных станций происходило скачкообразное увеличение смещений и расслоений пород. Так на замерной станции ю031 зафиксировано несколько таких скачков: 15.09.05, когда забой находился на расстоянии 418,7 м; через 1,00 сут., 16.09.05 – от забоя на 422,2 м; через 4,00 сут., 20.09.05 – от забоя на 437,5 м. Подобные процессы зафиксированы и на других станциях (см. табл. 1 и рис. 2-5).

Следует отметить, что замеры на станциях производились через несколько часов после того, как произошли эти скачки. При наличии аппаратуры и приборов непрерывного контроля можно было бы более точно зафиксировать моменты скачков увеличения скорости смещений пород.

Анализ графиков смещений пород показал следующее. Наиболее интенсивное расслоение пород в кровле выработки наблюдалось при отходе забоя штрека от замерной станции на расстоянии 150-200 м. За это время породы между

реперами расслаивались на величину от 2 до 175 мм. При этом максимальное расслоение испытал нижний интервал, границы которого отстоят от контура выработки на 500-900 мм.

В целом, после отхода подготовительного забоя на расстояние, превышающее 200 м, наблюдалось затухание, уменьшение скоростей смещений пород в кровле выработки. Скорость сдвижений и расслоения отдельных интервалов пород изменялась от 15 мм/сут. вблизи подготовительного забоя до 0,5-1,0 мм/сут. после отхода забоя штрека на расстояние более 150-200 м.

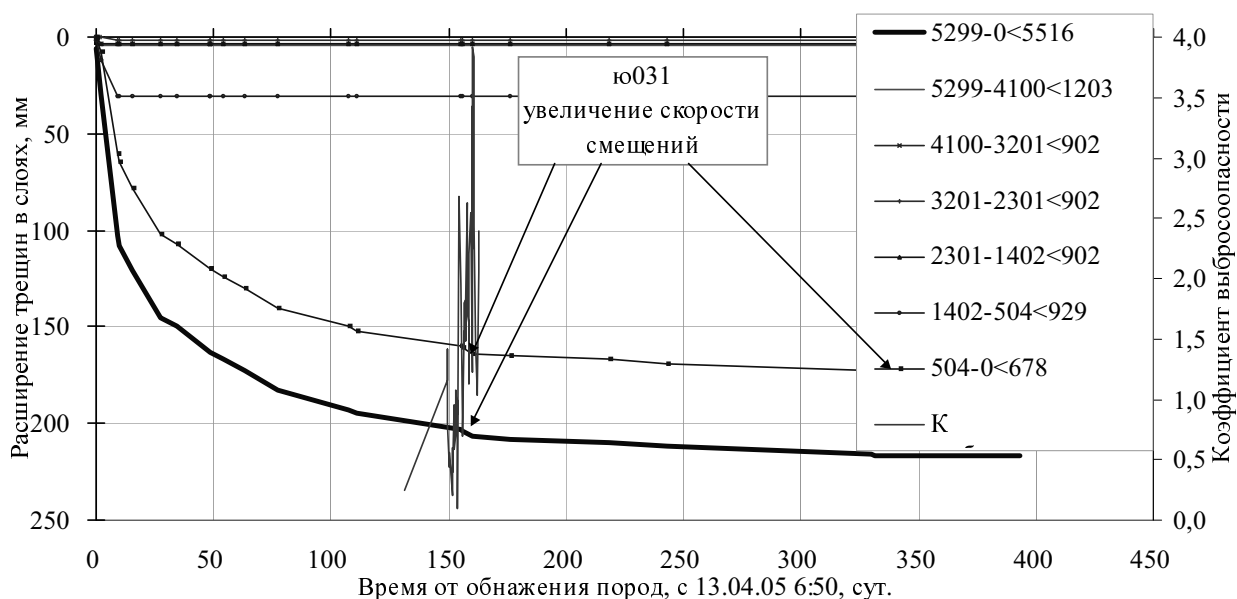


Рис. 2 – Сопоставление моментов активизации сейсмичности и возрастания скорости сдвижений кровли на замерной станции ю031

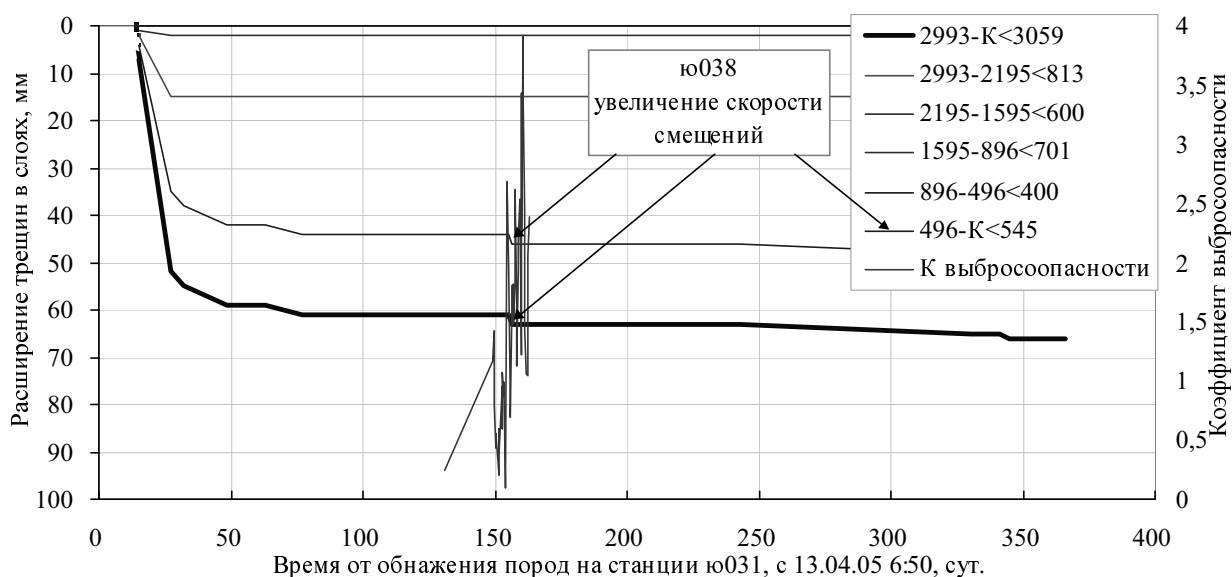


Рис. 3 – Сопоставление моментов активизации сейсмичности и возрастания скорости сдвижений кровли на замерной станции ю038

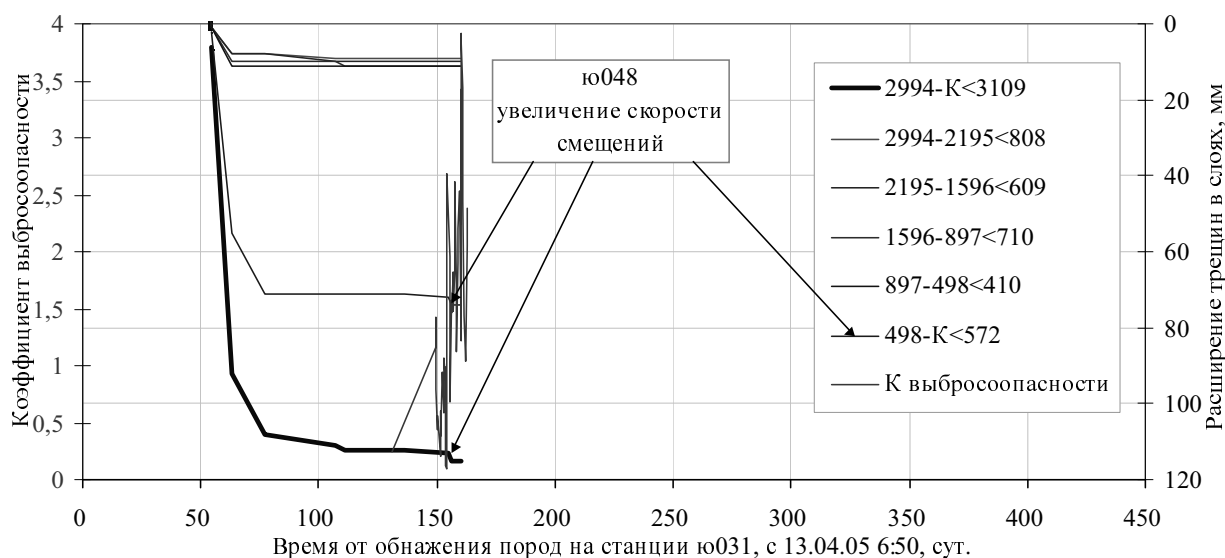


Рис. 4 – Сопоставление моментов активизации сейсмики и возрастания скорости сдвижений кровли на замерной станции ю048

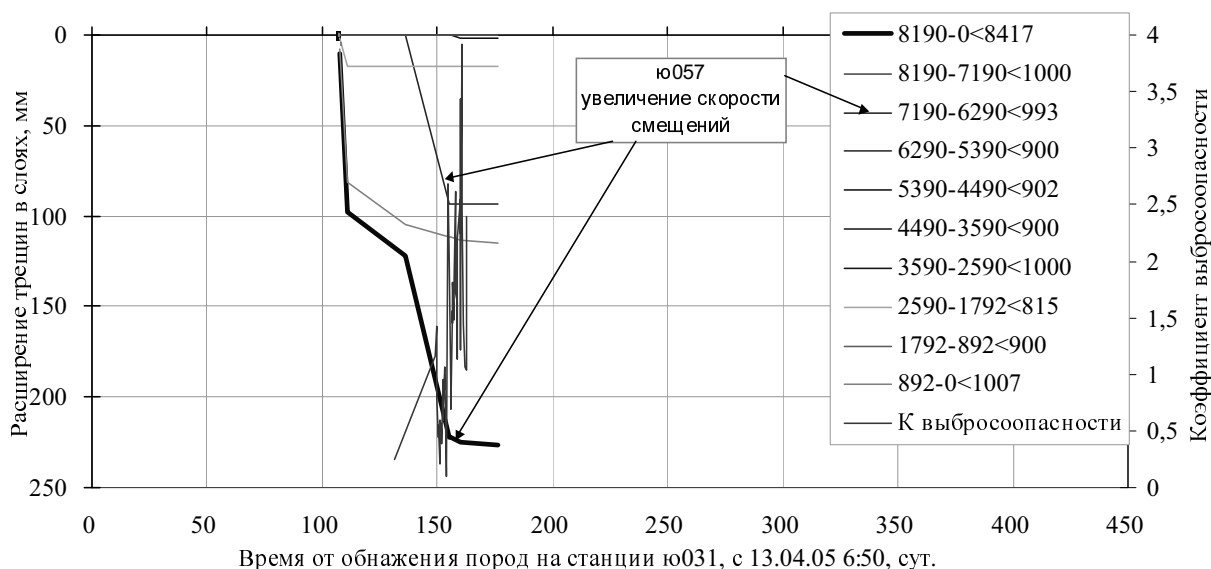


Рис. 5 – Сопоставление моментов активизации сейсмики и возрастания скорости сдвижений кровли на замерной станции ю057

Природа таких скачкообразных необратимых сдвижений изучена достаточно полно. Одной из наиболее вероятных причин скачкообразного ускорения процесса расслоения пород в кровле может быть исчерпание долговечности отдельного слоя и его разрушения, которое повлекло за собой активизацию сдвижений в соседних породных слоях. Теоретические основы такого механизма активизации сдвижений заложены теорией ползучести и кинетической теорией прочности твердых тел. Сдвигение пород во времени, обладающих хрупкими свойствами, не может быть плавным и монотонным. Оно обязательно будет иметь моменты ускорения, которые связаны с мгновенной потерей устойчивости критического слоя, от которого зависит распределение напряжений во всей

зоне неупругих деформаций. Скачкообразное ускорение неупругих сдвижений можно объяснить действием потери эффекта самозаклинивания разрушенных пород, когда происходит скачкообразное сдвижение массива пород, окружающего зону самозаклинивания.

К сожалению, замеры сдвижений пород производились только в кровле выработки и невозможно проверить выдвинутые гипотезы с помощью более достоверных данных. Если бы иметь замеры сдвижений кровли, боков и почвы в одном сечении, можно было бы более достоверно говорить о причинах скачкообразного ускорения сдвижений вмещающих пород.

Имеющиеся в настоящее время данные позволяют допускать только причины реологического характера. Подготовительные выработки эксплуатировались в нетронутом массиве, не были подвержены влиянию очистных работ, а скачки сдвижений происходили даже после отхода подготовительного забоя на расстояние 200 м и более. Это исключает влияние самого забоя на поведение пород в месте заложения наблюдательной станции. Покажем, как дублирование результатов наблюдений может изменить взгляд на возможную причину скачкообразного увеличения скорости сдвижений вмещающих пород.

В этой же выработке, на станциях ю031, ю038, ю048 и ю057 получены аналогичные закономерности сдвижений кровли (см. рис. 2-5). Сравнение всех графиков показало, что скачкообразное ускорение сдвижений происходило **почти одновременно — в течение до 0,2-0,8 сут.** на всех замерных станциях. (Более точно установить моменты скачкообразных ускорений сдвижений можно при наличии приборов и аппаратуры непрерывного контроля) В период 15-20.09.05 на всех наблюдательных станциях было зарегистрировано скачкообразное ускорение сдвижений кровли (рис. 6).



Рис. 6 – Сопоставление моментов активизации сеймики и возрастания скорости сдвижений кровли

Факт синхронного ускорения сдвижений на четырёх станциях, расстояние от которых до забоя составляло от 180,9 до 437,5 м, заставил пересмотреть возможную причину указанного явления. Теперь становилось ясно, что скачкообразное ускорение смещений пород кровли носит активный принудительный характер. Это явление могло быть вызвано только внешним воздействием, поскольку маловероятно случайное совпадение скачка смещений в короткий период времени на всех четырёх удаленных на 42,6, 111,2 и 102,5 м друг от друга станциях. Участки выработки, на которых оборудованы наблюдательные станции, пройдены в разное время и процессы ползучести протекали в них независимо и обособленно. Поэтому синхронное, без внешних причин, ускорение смещений в короткий период времени просто невозможно.

Для выявления причины такого скачка необратимых сдвижений был проведен анализ сейсмической активности подготовительного забоя, который регистрировался аппаратурой ЗУА. На рис. 3 приведена диаграмма сейсмоакустической активности, зарегистрированной в период, когда были зафиксированы синхронные скачки сдвижений на всех станциях. Видно, что до 14.09.05 средняя активность сейсмических событий составляла от 0,10 до 1,42. Синхронная активизация смещений зафиксирована в тот же период времени — с 27.08.05 до 15.09.05, с 15.09.05 до 16.09.05 и с 16.09.05 до 20.09.05. Активность увеличивалась также скачкообразно, было зафиксировано резкое повышение коэффициента выбороопасности: 14.09.05 15:34 — до 2,68, 15.09.05 16:55 — до 1,96 и 20.09.05 06:03 — до 3,43, т.е. в среднем почти в 2,4-2,6 раза.

Можно предположить, что причиной активизации сдвижений в кровле подготовительной выработки по всей её длине (или, по крайней мере, на контролируемом интервале) являются **глобальные события, которые произошли 14-20.09.05 и изменили напряженное состояние массива горных пород в пределах всего шахтного поля.**

На рис. 6 диаграмма региональной сейсмической активности массива горных пород совмещена с диаграммами скоростей смещений пород кровли. Стрелками указаны моменты совпадения активизации сейсмической активности и ускорения сдвижений кровли. Факт синхронного повышения сейсмической активности массива и скорости смещений кровли очевиден и не вызывает сомнения. Маловероятно, что локальная активизация смещений на отдельных участках подготовительной выработки могла быть причиной активизации сейсмической активности в подготовительном забое, который отошел от ближайшей станции на расстояние 180,9 м.

В то же время, активизация сейсмической активности массива является глобальной, по крайней мере, в пределах шахтного поля, поскольку она спровоцировала синхронное увеличение скорости сдвижений на всех замерных станциях. Очевидно, что сейсмическая активность возросла из-за другого неизвестного события, которое изменило напряженное состояние в пределах шахтного поля. Таким событием могла быть тектоническая подвижка по одному из сместителей дизъюнктивных нарушений, которые находятся в непосредственной близости к шахтному полю шахты им. А.Ф. Засядько. На востоке, в 1500 м от гра-

ниц шахтного поля, находится Григорьевский надвиг, амплитуда которого составляет 50-80 м. Это крупное разрывное нарушение является источником повышенных напряжений, которые время от времени разгружаются за счет скачкообразного перемещения крыльев дизъюнктивна относительно друг друга.

Кроме того, восточная граница шахтного поля совпадает с крупноамплитудным нарушением, которое может быть источником повышенных механических напряжений. Это нарушение расположено от крайней наблюдательной станции ю031 на расстоянии всего 900 м. Аналогичное нарушение расположено на западной границе шахтного поля. При этом глубина залегания пласта в области указанного нарушения изменяется на 250 м в интервале 300 м. Это означает, что пласт меняет угол залегания с 10° до 45° . Такое резкое изменение приурочено к аномальной зоне напряжённого состояния, которая может быть источником релаксационных подвижек массива.

Выводы.

Связь между причинами проявления горного давления и его следствиями является весьма сложной и может быть скрыта случайными факторами или иметь несколько равноценных трактовок, основанных на противоположных гипотезах. Синхронизация во времени разных форм проявления горного давления является достаточно надежным приёмом раскрытия подлинной причинно-следственной зависимости между этими проявлениями.

Современные тектонические процессы сопровождаются скачкообразной активизацией сдвижений горных массивов, в результате чего происходит перераспределение напряжений в нетронутым массиве. Такие процессы усиливают сейсмическую активность толщи, а также активизируют смещения пород, вмещающих горные выработки.

Сейсмическая активность массива горных пород увеличивается в несколько раз и является наиболее чувствительной к изменению его напряжённого состояния при активизации тектоники.

Процесс активизации сдвижений породного массива вокруг подготовительной выработки запаздывает относительно начала активизации сейсмической активности массива менее чем на 0,2-0,8 сут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов И.А., Ильюшенко В.Г., Назимко В.В. Связь между горным давлением и сдвижением массива горных пород// Проблемы гірського тиску. ДонНТУ. — Донецьк, № 9, 2003. С. 162-188.
2. Пилюгин В.И., Гавриш Н.Н., Кочин А.Е. Влияние складчатости на проявление горного давления при разработке угольных пластов// Сборник трудов национального горного университета, том. 5. Д.: ДНГУ, 2004. — № 19. — С. 77-80.