

УДК 622.1:622.834

УСТАНОВЛЕНИЕ ПРИЧИНЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Ефремов И. А., Опрышко Ю. С.

(шахта им. А. Ф. Засядько, г. Донецк, Украина)

Назимко И. В.

(УкрНИМИ, г. Донецк, Украина)

За допомогою комплексного використання результатів спостереження сейсмоакустичної активності масиву та зрушень порід навколо підготовчої виробки доведено, що синхронна активізація зрушень виникла в результаті дії флуктуації напруженого стану масиву гірських порід навколо велико амплітудного порушення.

Investigation with acoustic seismicity and movement of rock mass around excavation have been used to prove that synchronous activation of movement occurs consequently fluctuation stress of rock mass around major amplitude break.

Отработка запасов угля и других полезных ископаемых на современных глубинах, составляющих 800-1000 м и более, практически во всех случаях связана с необратимыми проявлениями горного давления, что затрудняет понимание взаимосвязи между сдвигениями массива горных пород и действующими в нем напряжениями [1]. В процессе упругого деформирования массива связь между напряжениями и деформациями однозначна и реализуется мгновенно. В том же случае, когда горное давление вызывает необратимые деформации вмещающих пород, однозначная связь между горным давлением и сдвигениями теряется. В частности разгрузка от напряжений не сопровождается обратимыми

деформациями массива. В процессе развития горных работ в пределах шахтного поля циклы, включающие рост горного давления и его последующую разгрузку повторяются неоднократно, в результате чего полный путь нагружения вмещающих пород становится весьма запутанным. Восстановить историю изменения напряжений и деформаций и определить их причинно-следственную связь при таких условиях весьма сложно.

В процессе формирования месторождения такие циклы пригрузки-разгрузки намного интенсивнее, чем при ведении горных работ. 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 негативного проявления горного давления на угольных пластах, имеющих беспокойную гипсометрию, выразившуюся в пликативных малоамплитудных нарушениях [2]. В процессе решения указанной проблемы была выдвинута гипотеза о том, что в местах, где кривизна поверхности угольного пласта превышает критическую величину, устойчивость подготовительных выработок и устойчивость непосредственной кровли в действующих 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 малоамплитудными пликативами.

Вместе с тем связь между величиной кривизны поверхности пласта и действующими в настоящее время напряжениями не может быть однозначной по следующим причинам. Кривизна угольного пласта формировалась в течение длительных геологических эпох и порождалась не только тектоническими подвижка-

ми земной коры, но и другими геологическими процессами (неравномерностью осадконакопления, размывами седиментов древними потоками и т.д.). В процессе изгибов толщи осадочных пород возникают запредельные состояния и пластические деформации, приводящие к разгрузке отдельных компонент напряжений и снижению уровня напряженного 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 часто меняется в пространстве и времени, в результате чего современная кривизна угольного пласта является следствием действия множества циклов нагружения и разгрузки. Причем практически на всех циклах имеют место запредельные неупругие деформации толщи, которые установление связи между напряжениями и деформациями.

Таким образом, современная кривизна угольного пласта, как правило, не является результатом действия только современных напряжений. Это значит, что связь между современным горным давлением и кривизной поверхности угольного пласта, которая является итогом нескольких геологических периодов активизации складчатости, не является однозначной и к использованию ее для подтверждения достоверности выдвинутой гипотезы следует подходить осторожно и взвешивать вышеуказанные обстоятельства.

Это означает, что проблема взаимосвязи горного давления и сдвижений массива горных пород является весьма сложной и для ее решения необходимо изыскивать новые методические подходы. Покажем это на примере результатов мониторинга смещений пород вокруг подготовительной выработки, эксплуатируемой на большой глубине.

В качестве примера приведем результаты мониторинга смещений вокруг конвейерного штрека 15-бис восточной лавы пласта m_3 шахты им. А. Ф. Засядько (рис. 1). Столб отработывался обратным ходом на участке пласта, где его мощность изменяется в пределах 1,7-1,8 м, а глубина залегания составляет 1220 м (рис. 1).

В кровле пласта находится аргиллит неустойчивый с пределом прочности на одноосное сжатие 35-45 МПа. В почве пласта расположен алевролит, склонный к пучению.

Конвейерный штрек проходил комбайновым способом со скоростью 220 м/мес. сечением в свету 18 м². Крезь комбинированная рамно-анкерная, устанавливаемая через 0,8 м с использованием 11 сталеполимерных анкеров. Выработка сохраняет удовлетворительную устойчивость, скорость смещений на контуре штрека составляет доли миллиметров в сутки. В выработке было оборудовано несколько наблюдательных станций за смещениями пород кровли. Для этого бурились скважины в кровлю выработки на глубину 5-8 м, после чего они оборудовались глубинными реперами с гибкими тягами. Перемещение концов гибких тяг измеряли относительно кондуктора скважин, что позволяло выделить деформации отдельных интервалов между соседними глубинными реперами и смещения пород кровли в целом.

На рис. 2 показан характер разуплотнения отдельных интервалов массива горных пород в кровле выработки в процессе отхода подготовительного забоя от замерной станции Ю031.

Справа на легенде рисунка указаны интервалы и их мощность. Например, интервал, деформации которого показаны кривой с горизонтальными черточками, залегал на высоте от свода сечения выработки от 1402 до 2301 мм, а его толщина составляла 939 мм. Именно на таком расстоянии и на указанных глубинах были установлены соседние реперы 2 и 3, которые охватывали указанный интервал массива.

Анализ графиков смещений пород показал следующее. Наиболее интенсивное расслоение пород в кровле выработки наблюдалось при отходе очистного забоя от замерной станции на расстояние 200 м. За это время породы расслоились на величину от 25 мм до 175 мм. При этом максимальное расслоение испытал интервал, границы которого отстоят от контура выработки от 0 до 504 мм. Суммарные опускания кровли составили 190 мм при отходе лавы от замерной станции на расстояние равное 600 м.

В целом после отхода подготовительного забоя на расстояние, превышающее 200 м, наблюдалось затухание смещений в кровле выработки.

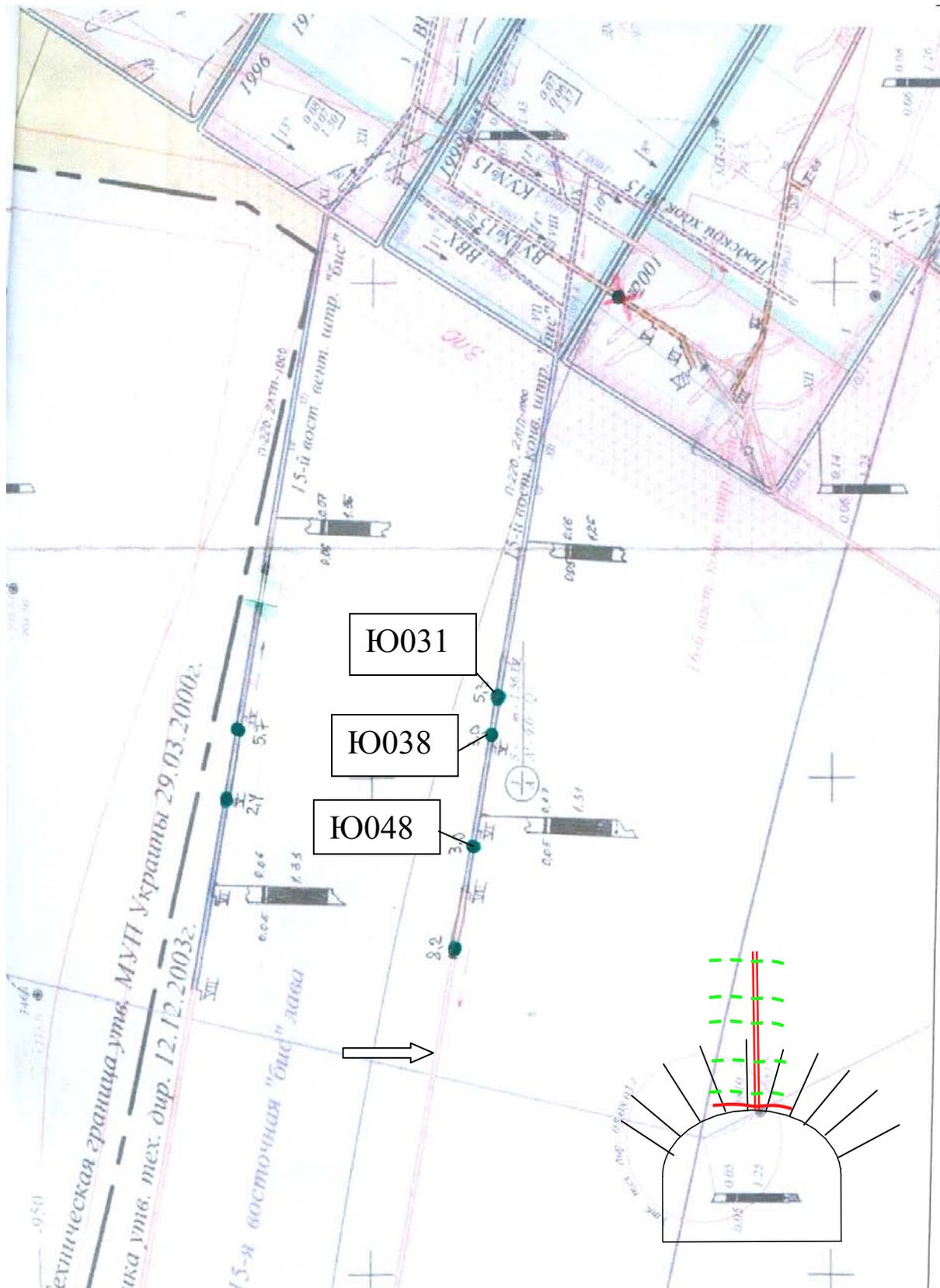


Рис. 1. Фрагмент плана горных выработок

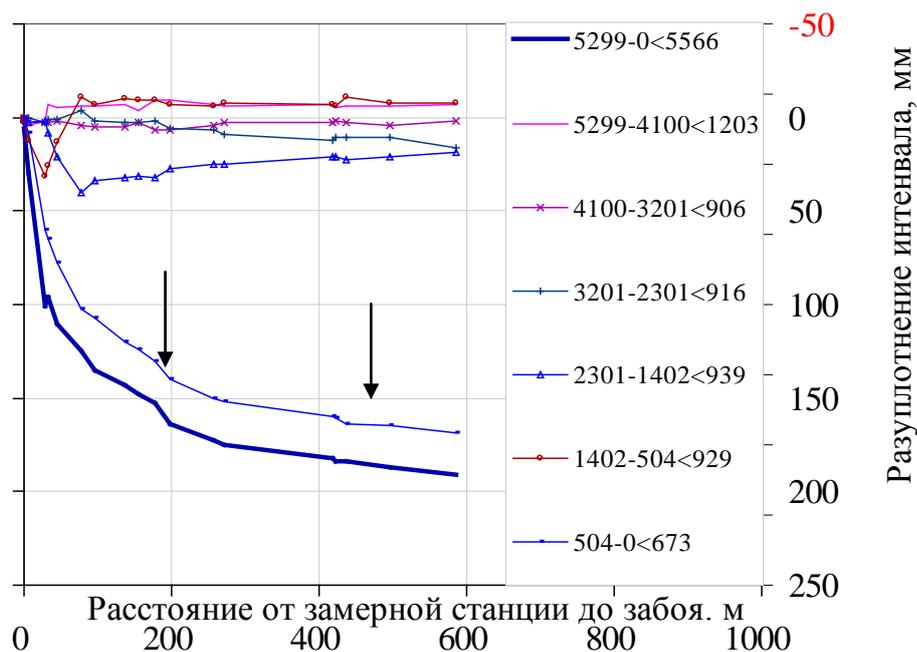


Рис. 2. Изменение разуплотнения интервалов в кровле выработки по мере увеличения расстояния до забоя по станции Ю031

Скорость смещений и расслоения отдельных интервалов пород изменялась от 15 мм/сутки в непосредственной близости к подготовительному забою до 0,5-1 мм/сутки после отхода лавы на расстояние 50 м и более (рис. 3).

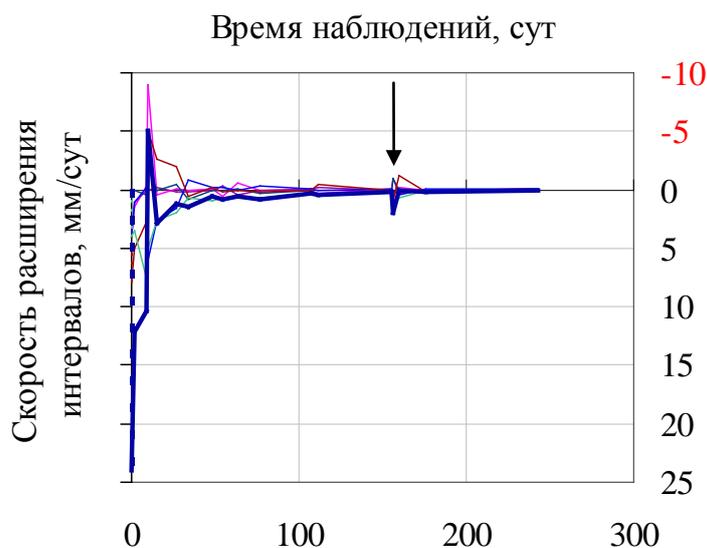


Рис. 3. Изменение скорости расширения интервалов во времени

Необходимо отметить, что на определенных расстояниях отхода забоя от замерной станции происходило скачкообразное увеличение смещений и расслоений пород. Таких скачков можно наблюдать несколько. Причем на графике отмечены стрелками скачки, произошедшие на момент отхода подготовительного забоя на расстояние 180 и 420 м на всех контролируемых интервалах, то есть по всем глубинным реперам.

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 [3]. Сдвигение пород во времени, обладающих хрупкими свойствами, не может быть плавным и монотонным. Оно обязательно будет иметь моменты ускорения, связанные с мгновенной потерей устойчивости критического слоя, от которого зависит распределение напряжений во всей зоне неупругих деформаций.

В качестве еще одной правдоподобной гипотезы скачкообразного ускорения неупругих смещений можно привлечь действие эффекта самозаклинивания разрушенных пород. При этом в процессе потери самозаклинивания происходит скачкообразное сдвигение массива пород, окружающих область самозаклинивания. К сожалению, замеры смещений пород производились только в кровле выработки и невозможно проверить выдвинутые гипотезы с помощью более достоверных данных.

Следует отметить, что имеющиеся в настоящее время данные позволяют допускать только причины реологического характера. Это связано с тем, что подготовительные выработки эксплуатировались в нетронутым массиве, не были подвержены влиянию очистных работ, а скачки сдвижений происходили после отхода подготовительного забоя на расстояние 200 м и более, что исключает влияние самого забоя на поведение пород в месте заложения наблюдательной станции. Покажем, как параллельные наблюдения на разных наблюдательных станциях могут изменить

вероятную трактовку причины скачкообразного увеличения сдвижений вмещающих пород.

В этой же выработке одновременно проводились инструментальные наблюдения еще на нескольких наблюдательных станциях. На станциях Ю038 и Ю048 получены аналогичные закономерности сдвижений вмещающих пород. Однако сравнение всех графиков смещений на трех станциях показало, что скачкообразное ускорение смещений происходит одновременно на всех замерных станциях только на одну дату замеров. Именно в этот день на всех наблюдательных станциях было зарегистрировано скачкообразное ускорение смещений по всем глубинным реперам. На графике рис. 3 скачок смещений по станции Ю031 показан стрелкой.

Факт синхронного ускорения смещений по трем станциям, расстояние между которыми составляло 160 м, заставил пересмотреть возможную причину указанного явления. Поскольку один и тот же эффект зарегистрирован на разных удаленных друг от друга станциях, он мог быть обусловлен только внешним воздействием, поскольку вероятность случайного совпадения скачка смещений в один момент времени на всех трех удаленных друг от друга станциях по всем реперам (более 25) равна нулю. Участки выработки, на которых оборудованы наблюдательные станции, пройдены в разное время и процессы ползучести протекали в них независимо и обособленно. Поэтому синхронное ускорение смещений в один момент времени не должно иметь места.

Для выявления причины такого скачка смещений был проведен анализ сейсмической активности подготовительного забоя, который регистрировался аппаратурой ЗУА. На рис. 4 приведен график сейсмоакустической активности, зарегистрированной в течение периода, когда было обнаружено синхронное ускорение сдвижений на всех трех станциях. Видно, что до момента, указанного стрелкой (момент скачка смещений), средняя активность сейсмических событий составляла 0,67 единиц, тогда как после синхронной активизации смещений активность увеличилась также скачкообразно до уровня 2,01, то есть почти в 3 раза.

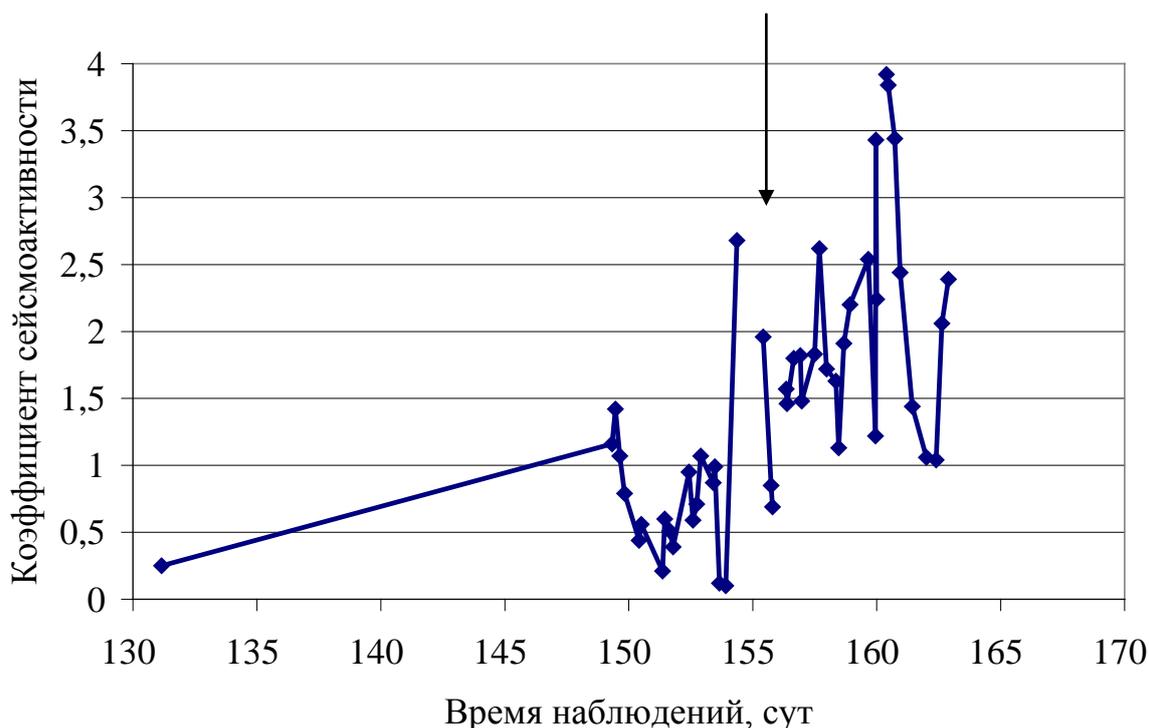


Рис. 4. Изменение интенсивности сейсмоакустической эмиссии во времени

Отсюда следует, что причиной активизации сдвижений в кровле подготовительной выработки по всей ее длине (или, по крайней мере, на контролируемом интервале) является глобальное событие, которое изменило напряженное состояние массива горных пород, по крайней мере, в пределах всего шахтного поля.

На рис. 5 графики смещений глубинных реперов по станции Ю031 совмещены с графиком акустической активности массива в окрестности выемочного столба 15-бис лавы. На рис. 6-8 показаны увеличенные фрагменты графиков смещений пород в кровле по всем трем наблюдательным станциям, совмещенные с графиком региональной сейсмической активности массива горных пород. Стрелками на всех графиках указаны моменты совпадения активизации сдвижений и сейсмической активности. При этом пустотелой стрелкой отмечен скачок сейсмической активности, а сплошными темными стрелками указаны моменты скачка скорости смещений глубинных реперов. Временной интервал между моментами фиксации активности сейсмической эмиссии и скачка скорости смещений в кровле экспериментальной выработки на

всех графиках одинаков и обусловлен разрывом времени между регистрацией скачка сейсмической эмиссии и очередным замером смещений на контуре выработки (табл. 1).

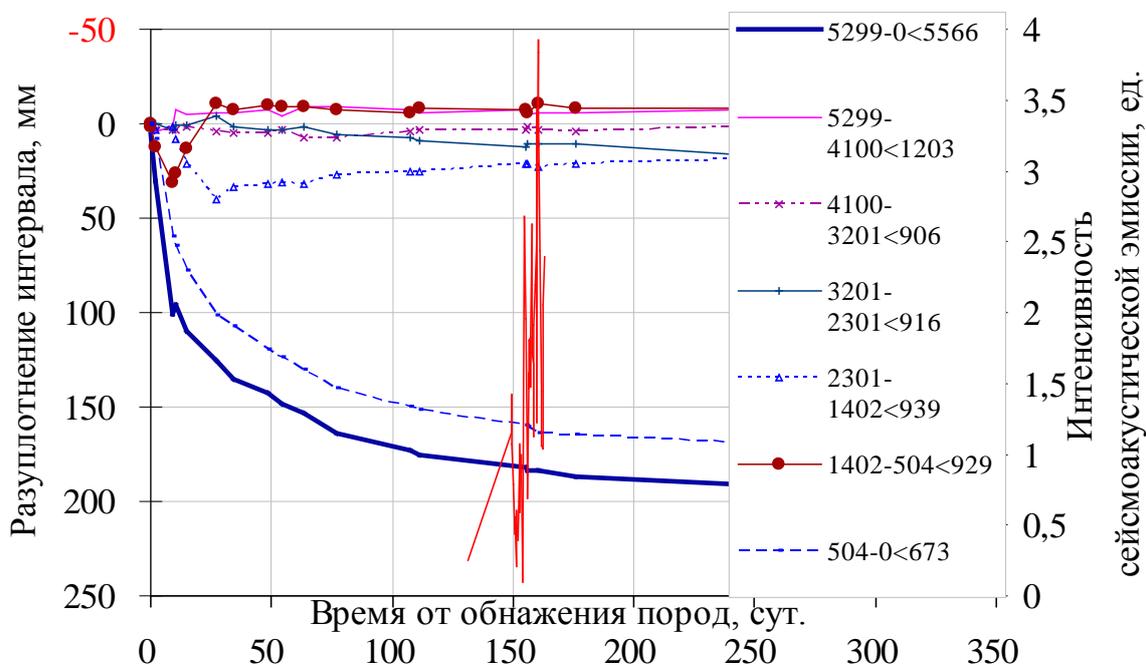


Рис. 5. Изменение расширения интервалов во времени по станции Ю031

Факт синхронного повышения сейсмической активности массива и скорости смещений вмещающих пород очевиден и не вызывает сомнения. Ясно, что локальная активизация смещений на отдельных сечениях подготовительной выработки не могла быть причиной активизации сейсмической активности в подготовительном забое, который отошел от ближайшей станции на расстояние, равное 190м.

Вероятнее всего активизация сейсмической активности массива является глобальной, по крайней мере, в пределах шахтного поля, поскольку она спровоцировала синхронное увеличение скорости смещений на всех трех замерных станциях.

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



Рис. 6. Сопоставление моментов активизации сейсмики и сдвижений по станции Ю031

Кроме того, восточная граница шахтного поля совпадает с еще одним крупноамплитудным нарушением, которое может быть источником повышенных механических напряжений. Это нарушение расположено от крайней наблюдательной станции 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° почти до 45° . Такое резкое изменение приурочено к аномальной зоне напряженного состояния, которая может быть источником релаксационных подвижек массива.

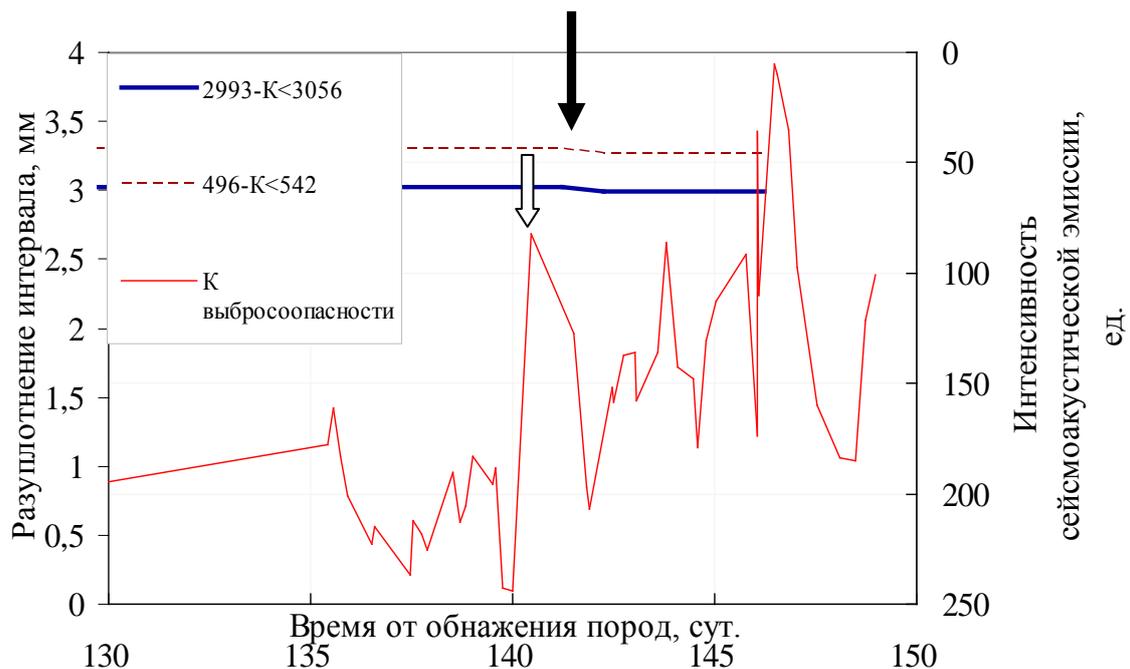


Рис. 7. Сопоставление моментов активизации сейсмики и сдвижений по станции Ю038

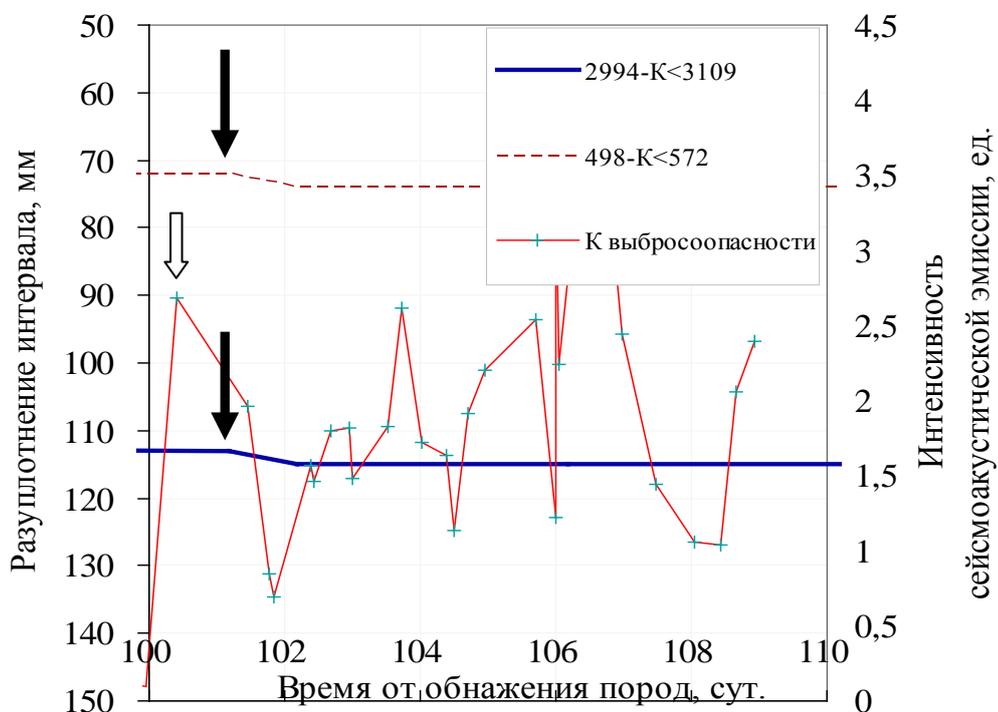


Рис. 8. Сопоставление моментов активизации сейсмики и сдвижений по станции Ю048

Таблица 1

Итоговые результаты мониторинга сдвижений на контуре
выработки и сейсмической активности массива горных пород

Номер станции	Момент активизации сейсмики, сутки	Момент активизации сдвижений, сутки	Задержка, сутки
Ю031	154,36	156,14	1,78
Ю038	140,46	142,24	1,78
Ю048	100,40	102,19	1,79

Современные тектонические подвижки массива горных пород протекают постоянно во времени и пространстве. Особенно высока вероятность таких подвижек в непосредственной близости к крупным дизъюнктивам, как в данном случае. Вместе с тем изменение напряженного состояния при таких активизациях весьма мало и вряд ли составляет более 1 МПа [4]. Это надежно подтверждается стабильной средней скоростью смещений на контуре подготовительных выработок, которые эксплуатируются в области активизации сейсмической активности. Средняя скорость смещений пород даже продолжает убывать согласно устойчивой тенденции, наблюдаемой на всех трех наблюдательных станциях, что свидетельствует о стабильности напряженного состояния до и после активизации сейсмического события в пределах экспериментального участка.

Зарегистрированный скачек скорости смещений на разных, удаленных друг от друга, замерных участках, не испытывающих влияние очистных работ и поддерживаемых в нетронutom массиве, может быть следствием активизации подвижки массива вокруг дизъюнктивного нарушения, находящегося на расстоянии нескольких сотен метров от экспериментального участка.

Эту наиболее вероятную причину активизации смещений на контуре подготовительной выработки удалось установить благодаря синхронизации результатов мониторинга смещений на не-

скольких наблюдательных станциях и сейсмической активности массива горных пород. Термодинамическая природа указанного эффекта заключается в производстве энтропии под действием флуктуации напряженного состояния массива. Величина производства энтропии пропорциональна произведению касательных напряжений на величину потоков (сдвижений) пород на контуре подготовительной выработки.

Таким образом, связь между причинами проявления горного давления и его следствиями является весьма сложной и может быть замаскирована случайными факторами или иметь несколько равноценных трактовок, основанных на противоположных гипотезах. Синхронизация во времени разных форм проявления горного давления является достаточно надежным приемом 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 горных пород. Такие процессы усиливают сейсмическую активность толщи, а также активизируют смещения вмещающих горные выработки пород.

ВЫВОДЫ

Благодаря комбинированию данных мониторинга сейсмоакустической активности массива горных пород и смещений пород вокруг подготовительной выработки удалось выявить причину синхронной активизации сдвижений. Эта активизация произошла под действием флуктуации напряженного состояния массива горных пород в окрестности крупноамплитудного нарушения.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Ефремов И. А., Ильюшенко В. Г. Назимко В.В. Связь между горным давлением и сдвижением массива горных пород //

- Проблеми гірського тиску. Збірник наукових праць Дон НТУ, Донецьк, 2003. – № 9. – С. 162–188.
2. Пилюгин В. И., Дворников В. И., Кочин А. Е., Каменец В. И. Ефремов И. А. Особенности расположения потенциально опасных зон в шахтных полях // Известия Донецкого горного института 2002, № 3, – С. 81 – 86.
 3. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974. – 560 с.
 4. Кулинич В. С., Перепелица В. Г., Ефремов И. А. и др. Результаты определения величины и направления главных напряжений в углепородном массиве пласта l_1 шахты им. А. Ф. Засядько методом локального гидравлического разрыва (ЛГР) // Геотехническая механика. Сборник научных трудов. – Днепропетровск, ИГТМ НАНУ, 2003, вып. 44.– С. 156 – 164.