

распределения нарушений на прогнозируемом участке. Главным достоинством вышеописанного метода является минимальная себестоимость при достаточной достоверности, что выгодно отличает его от известных методов. Применение данного метода не требует проведения работ с использованием специального оборудования в шахтных условиях, что значительно снижает трудоемкость прогноза. Оперативность этого метода позволяет быстро и в короткие сроки осуществлять прогноз на заданном участке, что способствует скорейшему вводу в эксплуатацию новых выемочных полей.

В настоящее время, разработанная методика применяется для прогноза малоамплитудных разрывных нарушений на выемочных полях шахты «Южнодонбасская №3» и АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» для оценки надежности отработки выемочных столбов и обеспечения устойчивости подготавливаемых выработок за счет их рационального расположения. Одновременно совершенствуется методика прогноза с учетом основных характеристик физического процесса зарождения малоамплитудных разрывных нарушений.

Библиографический список

1. Глухов А.А., Анциферов А.В. Метод определения типа и параметров малоамплитудной тектонической нарушенности угольного пласта // Проблемы гірського тиску: Сб. науч. тр. — Донецк: ДонНТУ, 2001. — № 5. — С. 16–36.

2. Назимко В.В., Мерзликин А.В., Захаров В.С. Прогноз мелкоамплитудных разрывных нарушений угольных пластов с помощью нейронных сетей и генетических алгоритмов // Геотехнологии на рубеже XXI века. Т. II. — Донецк: ДонНТУ, 2001. — С. 51–58.

© Назимко В.В., Мерзликин А.В., 2002

УДК 622.273

НИЧИПОР М.В. (ГХК «Макеевуголь»), ЕФРЕМОВ И.А. (шахта им. А.Ф.Засядько), ДЕГЛИН Б.М., ПИЛЮГИН В.И. (ДонНТУ), ШИРОКИХ Н.В. (ООО «ЗУА»).

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЛАВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

С ростом глубины условия добычи угля в Донбассе все более усложняются. Происходит существенное снижение устойчивости подготовительных выработок, увеличивается количество вывалов в очистных забоях, растет интенсивность и изменяется характер газовыделения, учащаются внезапные выбросы угля и газа.

Все вышеперечисленные явления, не смотря на внешние различия, имеют под собой общую физическую основу и природу: они обусловлены изменением напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива при ведении очистных работ в пределах яруса, крыла, горизонта или всего шахтного поля. В связи с этим любые новые знания и представления в области *геомеханики лавы* могут быть использованы для повышения безопасности и эффективности угледобычи.

Из практики отработки угольных пластов хорошо известно явление периодического зависания и обрушения слоев основной и непосредственной кровли в очистных забоях. Его суть заключается в том, что по мере подвигания лавы увеличивается площадь обнажения кровли, вес зависающих над выработанным пространством пород и происходит их обрушение. Предельная длина консоли, или шаг обрушения непосредственной кровли всегда в несколько раз меньше шага обрушения основной.

Поэтому именно она, в основном, предопределяет динамику НДС массива вблизи очистного забоя. Развитие напряжений и деформаций во времени отражает взаимодействие основной и непосредственной кровли с угольным пластом.

Шаг посадки основной кровли является одной из важнейших характеристик поведения массива при выемке угля лавами. Анализ ранее выполненных исследований [1], а также последних руководящих нормативных актов Минтопэнерго Украины [2] показывает, что его величина считается примерно постоянной для данных условий и определяется геологией залегания пласта. Это положение в настоящее время является своего рода постулатом, на котором основаны многие горно-технические расчеты.

В 80-е годы О.Якоби ввел в горную науку понятие «внешних» и «внутренних» углов лавы [3]. Под «внешним» или выступающим углом понимается часть лавы и примыкающее к ней выработанное пространство, расположенные у ранее отработанного яруса (этажа). За счет зависания массива над выработанным пространством в ней имеют место повышенные сжимающие напряжения, поэтому в литературе она часто называется зоной стационарного опорного давления. Аналогично, «внутренний» угол — это часть очистного забоя, примыкающая к неотработанному угольному массиву. При отработке лав по простиранию «внешний» угол, как правило, является верхним, а «внутренний» — нижним.

Согласно известным представлениям [4], породы основной и непосредственной кровли, расположенные у «внешнего» угла, можно рассматривать как систему нагруженных упругих анизотропных плит, жестко заземленных со стороны забоя и свободных с трех остальных сторон. При наличии охранных сооружений вблизи подготовительных выработок плиты могут иметь дополнительную опору, направленную перпендикулярно линии лавы. Массив у «внутреннего» угла представляет собой такие же плиты, зажатые с двух сторон: со стороны лавы и со стороны нетронутого массива. Очевидно, что из-за различий в условиях заделки и нагружения распределение напряжений в этих двух системах при прочих равных условиях будет существенно отличаться. Это позволяет предположить, что шаг и механизм обрушения пород основной кровли у «внешнего» и «внутреннего» углов будут различаться.

Характер изменения НДС массива вблизи очистного забоя можно наблюдать методом акустической эмиссии (АЭ), которая сопутствует деформациям породных слоев при выемке угля [5]. Временные ряды сейсмоакустических наблюдений представляют собой суперпозицию нескольких периодических процессов, отражающих деформации различных слоев кровли (почвы) и случайных составляющих, связанных с неоднородностью свойств массива и ошибками эксперимента. При длительных сейсмоакустических наблюдениях удается с достаточной для практических задач точностью определить периодичность зависаний и обрушений как основной, так и непосредственной кровли [6].

Натурные исследования особенностей поведения пород кровли выполнялись в 16-й восточной лаве пласта m_3 шахты им. А.Ф.Засядько. Суть эксперимента состояла в непрерывном наблюдении изменения активности АЭ в районе «внешнего» и «внутреннего» углов очистного забоя звукоулавливающей аппаратурой «ЗУА-98». Общее время эксперимента составило 50 суток, подвигание очистного забоя — 250 м.

Условия эксперимента были следующими: мощность пласта — 1,4–1,6 м; марка угля — Ж; длина лавы — 260 м; оборудование — крепь ЗКД90У и комбайн 1ГШ68. В кровле пласта залегали: глинистый сланец мощностью 7,5 м и прочностью 30–40 МПа; песчанистый сланец мощностью 9,0 м и прочностью 40–60 МПа и песчаник мощностью 10,5 м и прочностью 80–90 МПа. По данным визуальных наблю-

дений аргиллит и алевролит составляли непосредственную, а песчаник — основную кровлю.

Обработка сейсмоакустических наблюдений заключалась в построении исходного и сглаженного скользящим осреднением временных рядов АЭ для верхней и нижней частей лав. Кроме того, с целью поиска периодических составляющих с заметным статистическим весом, был проведен (методом быстрого преобразования Фурье с соответствующей весовой функцией временного окна) спектральный анализ исходных временных рядов. Выделение скрытых периодичностей на фоне случайных составляющих является внутренне присущим достоинством спектрального преобразования, которое обусловило его широкое применение в различных областях науки и техники. Однозначность перехода от временного описания данных к спектральному и обратно позволяет считать спектральную обработку перспективной для нашей задачи.

На рис.1 представлены графики изменения активности АЭ во времени в районе «внутреннего» (рис.1, а) и «внешнего» (рис.1, б) углов 16-й восточной лавы. Они имеют ряд сходных общих моментов и существенные различия:

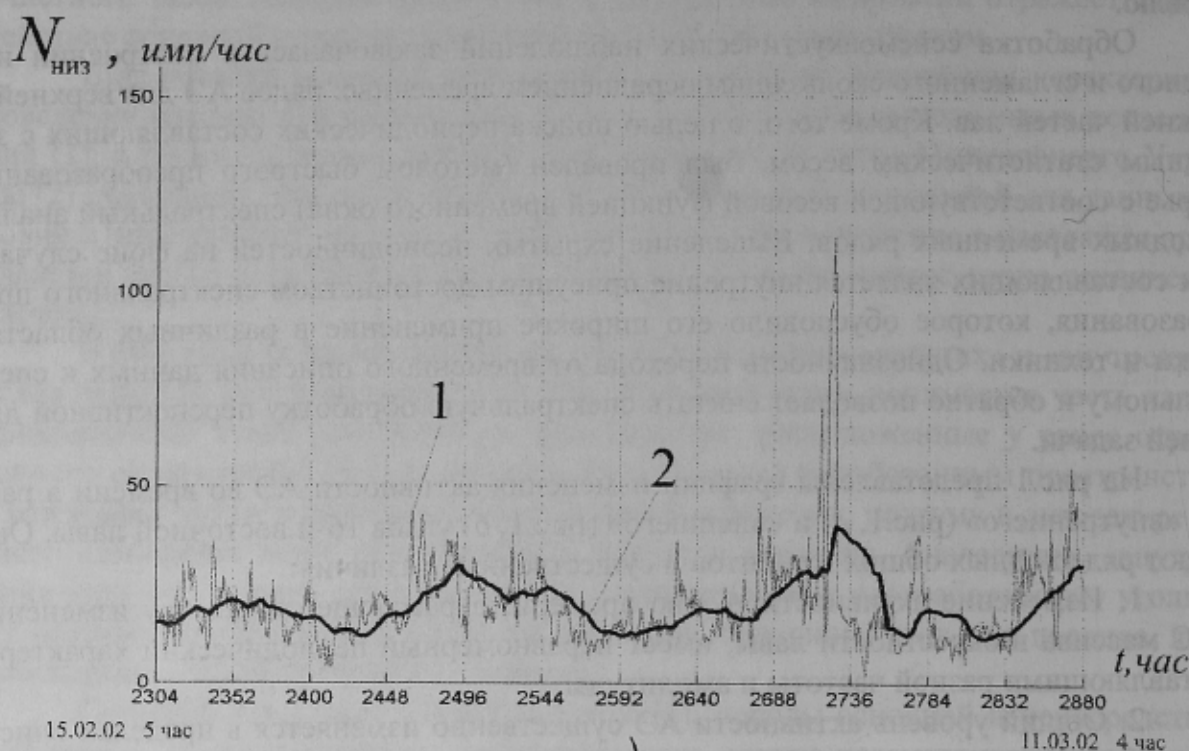
1. Изменение активности АЭ во времени, отражающее динамику изменения НДС массива в окрестности лавы, имеет неравномерный периодический характер с составляющими разной частоты и амплитуды.

2. Общий уровень активности АЭ существенно изменяется в пределах очистного забоя. У «внешнего» угла лавы он значительно (примерно в 3–4 раза) выше, чем у «внутреннего».

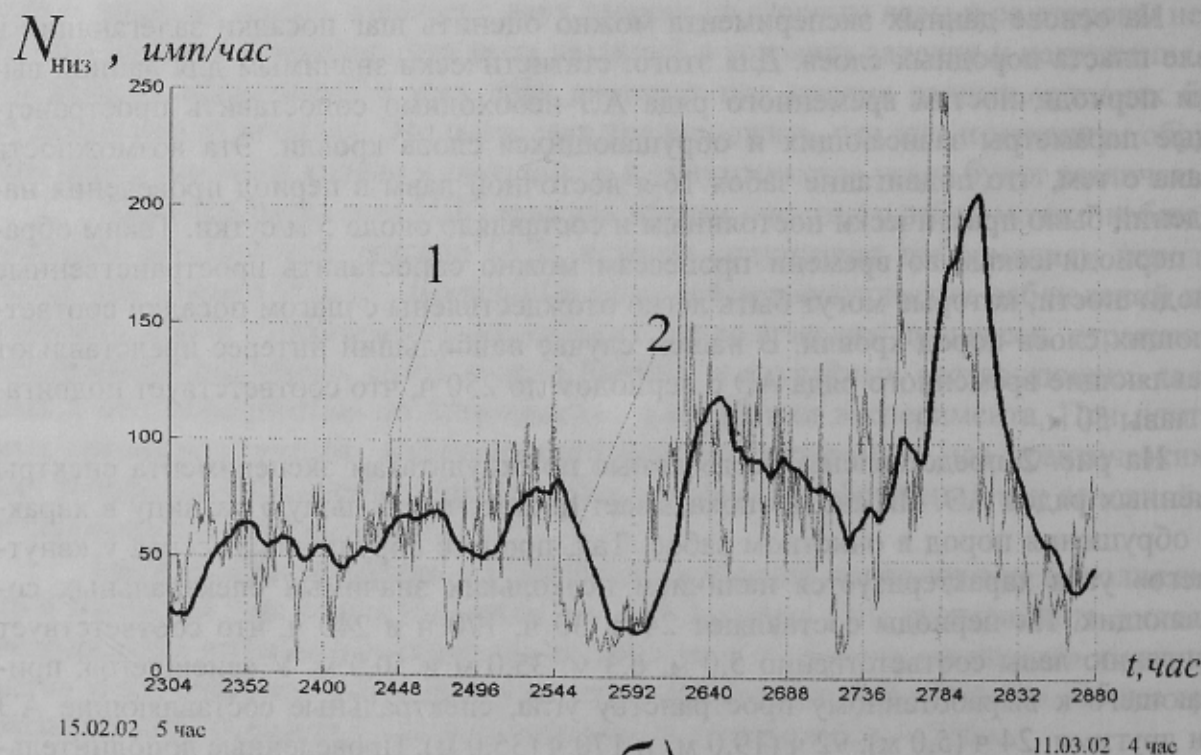
3. Экстремумы активности АЭ у «внутреннего» и «внешнего» углов лавы имеют разный период, т.е. обрушение кровли в этих зонах происходит, как правило, несинхронно.

На основе данных эксперимента можно оценить шаг посадки залегающих в кровле пласта породных слоев. Для этого, статистически значимым для данной выборки периодичностям временного ряда АЭ необходимо сопоставить пространственные параметры зависающих и обрушающихся слоев кровли. Эта возможность связана с тем, что подвигание забоя 16-я восточной лавы в период проведения наблюдений было практически постоянным и составляло около 5 м/сутки. Таким образом, периодическим во времени процессам можно сопоставить пространственные периодичности, которые могут быть легко отождествлены с шагом посадки соответствующих слоев пород кровли. В нашем случае наибольший интерес представляют составляющие временного ряда АЭ с периодом до 250 ч, что соответствует подвиганию лавы 50 м.

На рис. 2 представлены построенные по результатам эксперимента спектры временных рядов АЭ. Их анализ показывает достаточно большую разницу в характере обрушения пород в очистном забое. Так, процесс обрушения массива у «внутреннего» угла характеризуется наличием нескольких значимых спектральных составляющих. Их периоды составляют 24 ч, 30 ч, 170 ч и 240 ч, что соответствует подвиганию лавы соответственно 5,0 м, 6,3 м, 35,0 м и 50,0 м. У «внешнего», прилегающего к выработанному пространству угла, спектральные составляющие АЭ были другими: 24 ч (5,0 м), 92 ч (19,0 м) и 170 ч (35,0 м). Проведенные дополнительно визуальные обследования очистного забоя подтвердили, что шаг обрушения основной кровли у «внутреннего» угла колебался в пределах 33–38 м, а у «внешнего» — 18–22 м. Таким образом, в условиях эксперимента было



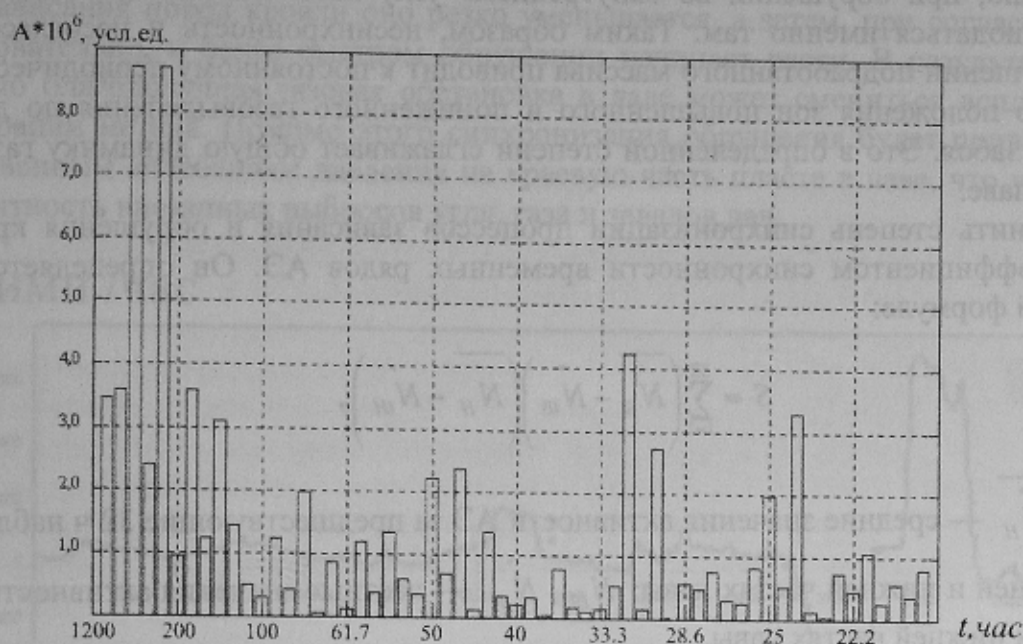
а)



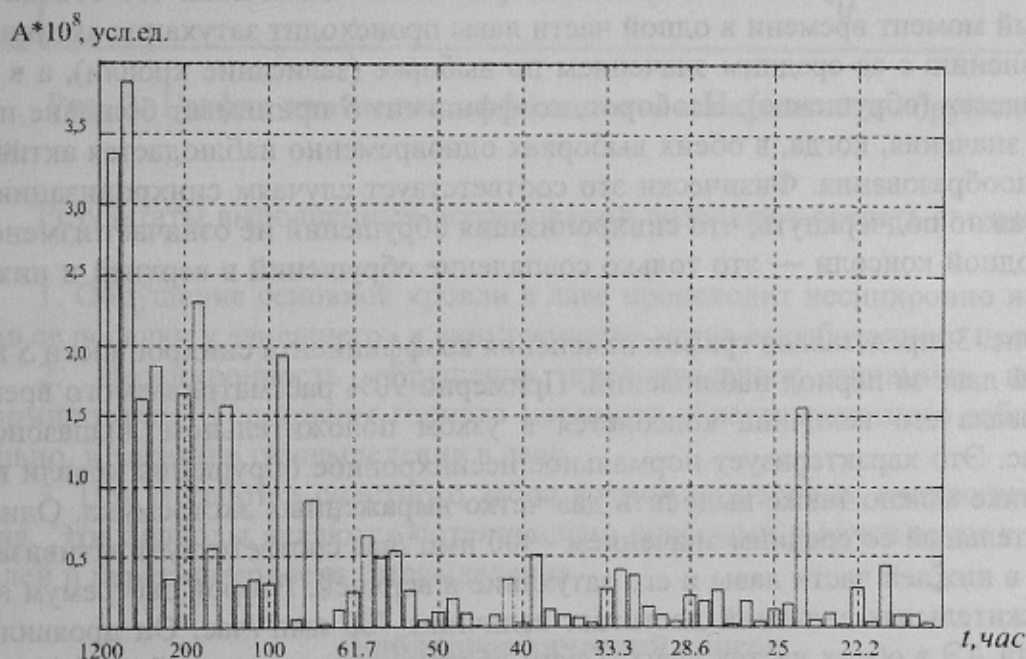
б)

Рис. 1. Графики изменения активности АЭ в 16-й восточной лаве пласта m_3 : а — «внутренний» угол; б — «внешний» угол: 1 — исходные данные; 2 — усредненная кривая

установлено, что в зоне, примыкающей к выработанному пространству, шаг обрушения основной кровли существенно ниже (в 1,8–2,0 раза), чем в зоне, примыкающей к нетронутому массиву.



а)



б)

Рис. 2. Спектры временного ряда АЭ: а — «внутренний» угол лавы; б — «внешний» угол лавы

Описанная несинхронность обрушения массива является одним из факторов, предопределяющих неравномерность газовыделения из разрабатываемого пласта и выработанного пространства по длине очистного забоя. В самом деле, если обруше-

ние в данный момент произошло в верхней части лавы, то именно в этой зоне произошла относительная разгрузка краевой части массива и спутников и пригрузка выработанного пространства и, следовательно, повысилось газовыделение из них. Соответственно, при обрушении во «внутреннем» углу лавы всплеск газовыделения будет наблюдаться именно там. Таким образом, несинхронность и несогласованность обрушений подработанного массива приводит к постоянному периодическому изменению положения зон повышенного и пониженного газовыделения по длине очистного забоя. Это в определенной степени сглаживает общую динамику газовыделения в лаве.

Оценить степень синхронизации процессов зависания и обрушения кровли можно коэффициентом синхронности временных рядов АЭ. Он определяется по следующей формуле:

$$S = \sum_{i=1}^{32} \left(\overline{N_B} - \dot{N}_{iB} \right) \left(\overline{N_H} - \dot{N}_{iH} \right),$$

где $\overline{N_B}$, $\overline{N_H}$ — средние значения активности АЭ за предшествующие 32 ч наблюдений в верхней и нижней частях лавы; \dot{N}_{iB} , \dot{N}_{iH} — частные значения активности АЭ в верхней и нижней частях лавы.

Как следует из формулы (1) коэффициент S зависит от величины и знака отклонения текущих значений АЭ от выборочных средних, он принимает большие отрицательные значения, если в одной из выборок наступает задержка деформаций, а в другой — наблюдается усиленное трещинообразование. Физически это обозначает, что в данный момент времени в одной части лавы происходит затухание активности АЭ по сравнению с ее средним значением по выборке (зависание кровли), а в другой — «всплеск» (обрушение). Наоборот, коэффициент S принимает большие положительные значения, когда, в обеих выборках одновременно наблюдается активизация трещинообразования. Физически это соответствует случаям синхронизации обрушения. Важно подчеркнуть, что синхронизация обрушений не означает изменения длины породной консоли — это только совпадение обрушений в верхней и нижней частях лав.

На рис. 3. представлен график изменения коэффициента синхронности S в 16-й восточной лаве за период наблюдений. Примерно 90% рассматриваемого временного интервала его величина колеблется в узком положительном диапазоне 0–200 имп²/час. Это характеризует нормальное несинхронное обрушение кровли в лаве. На графике можно также выделить два четко выраженных экстремума. Один из них отрицательный со средним значением –900 имп²/час соответствует активизации обрушения в нижней части лавы и его затухание в верхней. Второй экстремум в области положительных значений достигает величины 700 имп²/час. Он проявился в период роста АЭ в обеих частях лавы. Таким образом, предложенный коэффициент вполне удовлетворительно отражает согласованность (несогласованность) процесса обрушения пород кровли в очистном забое.

Отраженные в виде экстремумов на графике рис. 3 случаи отклонений от нормального режима обрушений пород кровли представляют особый интерес. Эти явления происходят при отходе лавы от разрезной печи, примыкающей к нетронутому массиву, при подходе очистного забоя к выработанному пространству, когда между ними остается целик небольшой ширины, а также при переходе геологиче-

ских нарушений, пересекающих отрабатываемое выемочное поле. Анализ показал, что при этом часто наблюдается синхронизация обрушения в нижней и верхней частях лавы. Динамика процесса газовыделения в очистном забое изменяется. В периоды зависания пород кровли оно резко уменьшается, а затем, при согласованном, а, следовательно, и более быстром обрушении начинает расти. В результате относительно благополучная газовая обстановка в лаве может смениться всплеском концентрации метана. Помимо этого синхронизация обрушения будет приводить к существенным колебаниям давления на краевую часть пласта в лаве, что увеличивает вероятность внезапных выбросов угля, газа и завалов лав.

S_i , имп²/час

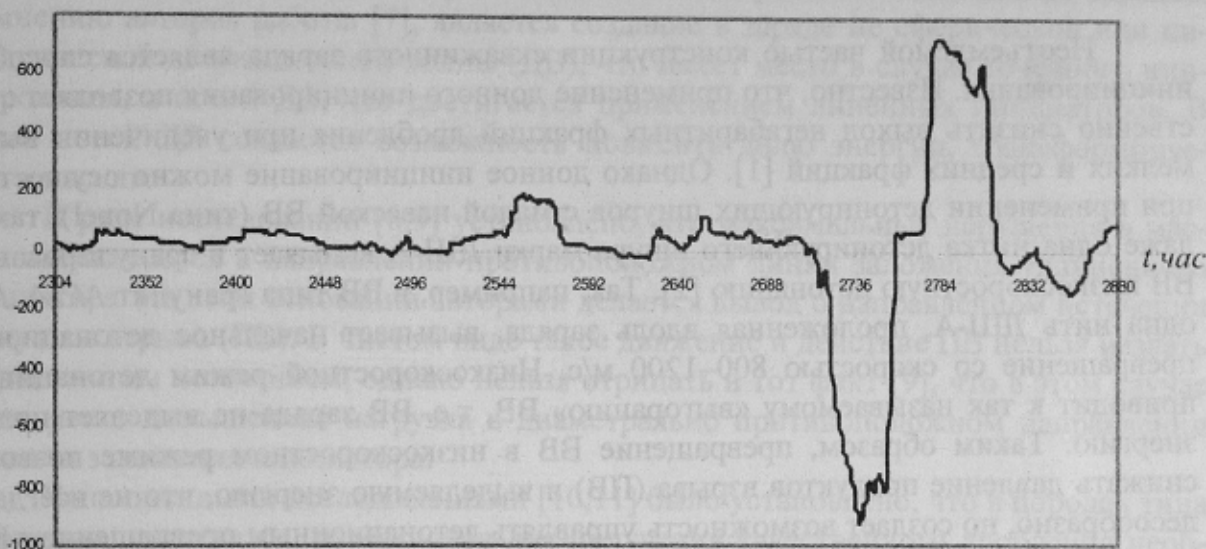


Рис. 3. График изменения коэффициента синхронности обрушения во времени

Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Обрушение основной кровли в лаве происходит несинхронно из-за разных шагов ее посадки у «внешнего» и «внутреннего» углов выработанного пространства.
2. Несинхронность обрушения предопределяет динамику напряженно-деформированного состояния горного массива в области очистного забоя, а, следовательно, и характер газовыделения в лаву.
3. При отработке очистного забоя возможны периоды синхронизации обрушения. Эти периоды являются потенциально опасными с точки зрения управления кровлей и неравномерности газовыделения.

Библиографический список

1. Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. — М.: Недра, 1984. — 304 с.
2. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. — Донецк: ДонУГИ, 2002. — 145 с.
3. Якоби О. Практика управления горным давлением. Пер. с нем. — М.: Недра, 1987. — 556 с.
4. Пилюгин В.И., Костенко В.К., Костенко А.В. и др. Области фильтрации метана в подрабатываемой кровле угольного пласта // Изв. Донецкого горного института, 2001. — № 1. — С. 81–85.
5. Применение сейсмоакустических методов в горном деле / Под ред. М.С. Анцыферова. — М.: Недра, 1964. — 150 с.

6. Деглин Б.М., Пилюгин В.И., Бабенко В.С., Мартовицкий А.В. Об одном из способов мониторинга угольных пластов, склонных к динамическим явлениям // Геотехнологии на рубеже XXI века, 2001. — Т.2. — С. 116–121.

© Ничипор М.В., Ефремов И.А., Деглин Б.М.,
Пилюгин В.И., Широких Н.В., 2002

УДК 622.235

КЛОЧКО И.И.(ДонНТУ)

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ВЗРЫВНОГО ИМПУЛЬСА СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВВ НА КАРЬЕРАХ

Неотъемлемой частью конструкции скважинного заряда является способ его инициирования. Известно, что применение донного инициирования позволяет существенно снизить выход негабаритных фракций дробления при увеличении выхода мелких и средних фракций [1]. Однако донное инициирование можно осуществить при применении детонирующих шнуров с малой навеской ВВ (типа Nonel), так как даже одна нитка детонирующего шнура марки ДШ-А вызывает в гранулированных ВВ низкоскоростную детонацию [2]. Так, например, в ВВ типа гранулит АС-4, АС-8 одна нить ДШ-А, проложенная вдоль заряда, вызывает начальное детонационное превращение со скоростью 800–1200 м/с. Низкоскоростной режим детонации ВВ приводит к так называемому «выгоранию» ВВ, т.е. ВВ заряда не выделяет полную энергию. Таким образом, превращение ВВ в низкоскоростном режиме позволяет снижать давление продуктов взрыва (ПВ) и выделяемую энергию, что не всегда целесообразно, но создает возможность управлять детонационным превращением ВВ и параметрами взрывного импульса. Это, в свою очередь, позволяет управлять затратами энергии на различные виды работы взрыва (дробление ($A_{\text{дроб}}$), переизмельчение ($A_{\text{дис}}$)). Таким образом, донное инициирование скважинных зарядов в гранулированных ВВ при взрывании крепких горных пород может дать отрицательный результат по качеству дробления.

Инициирование заряда от устья скважины не представляет собой трудности в смысле формирования заряда. Однако на практике, особенно в крупноблочных массивах, верхнее инициирование приводит к отказам из-за подвижки блоков от взрыва соседних скважин. Это приводит к «пережатию» скважинных зарядов. В результате детонационное превращение ВВ происходит только в верхней части заряда, т.е. в массив выделяется не вся энергия, что сопровождается значительным выходом негабаритных фракций. Поэтому на практике стремятся промежуточные детонаторы размещать в центре заряда или ближе ко дну скважины. В ряде работ, например [3,4], исследовалось влияние направленности детонации заряда на характер разрушения. Установлено, что направление детонации оказывает существенное влияние на степень дробления породы. При этом отмечается, что выбор точки инициирования заряда и направления детонации необходимо производить с учетом влияния характера формирования и распределения поля напряжений в массиве.

Э.О.Миндели [5] задачу влияния расположения инициаторов в заряде решил исходя из значения скоростей детонации и распространения напряжений в среде. Им установлено, что влияние направления инициирования более существенно в крепких породах (крепость по шкале М.М.Протоdjяконова $f=8$ и выше). При изучении особенностей донного и верхнего инициирования установлено, что наиболее благопри-