Записки Ленинградского горного института им. Г.В.Плеханова
Т. 123. Л., 1990

УДК 622.83

А.А.БОРИСОВ

ПРОГНОЗ ПОДВИГАНИЯ ЗАБОЕВ ПО ДАННЫМ СИСТЕМЫ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРУШЕНИЙ КРОВЛИ

В подземных горных выработках (лавах, штреках, на сопряженных и др.) и естественных полостях (пещерах, гротах и др.) обрушения кровли происходят в разных геологических условиях. Они проявляются в различных формах, от локальных вывалов до горных обвалов, охватывающих весьма большие площади обнажения кровли и являются причинами травматизма, в том числе и группового, приводят к срывам поточности добычи и темпов проходки выработок, нанося большой экономический ущерб. Особенно тяжелый урон наносят частые, незакономерные вывалы в пределах локальных зон непосредственной кровли в лавах. Эти зоны могут являться следствием естественных процессов – особенностей осадконакопления, или искусственных – влияния подвигания очистных, реже – подготовительных забоев.

К естественным нарушениям устойчивости непосредственной кровли относятся зоны: геологических нарушений, развитой трещиноватости и ослабленного механического контакта между соседними слоями (ОМК), резкие уменьшения мощности нижних слоев непосредственной кровли, их выклинивания и др. Особенно опасными являются зоны, в пределах которых ОМК выделяют в нижней части непосредственной кровли один или несколько весьма тонких слоев.

Искусственные зоны локальных нарушений устойчивости непосредственной кровли создаются действием динамики опорного давления в процессе подвигания длинных очистных забоев. К ним относятся трещины давления, вынужденного кливажа, а также трещины, порожденные подработкой и надработкой. К искусственным относятся также трещины, образующиеся при торпедировании кровли. Достаточно хорошо известно и явление раскрытия трещин при подвигании лав.

Борьба с обрушениями кровли осложняется практическим отсутствием предупредительных признаков, поскольку эти обрушения часто происходят внезапно. Причиной неожиданности обрушений непосредственной кровли является действие закрепляющей нагрузки (опорного давления), сжимающей породы кровли на их опорном контуре [1,2] , что обуславливает резкое уменьшение деформаций ее изгиба и снижение величины критического изгибающего момента. Нарастание деформаций изгиба локального участка непосредственно перед обрушением кровли остается практически совершенно незаметным для глаза наблюдателя (горного инженера, геолога). Локальные зоны кровли, выработок, опасные по нео-

жиданным обрушениям, невозможно заблаговременно выявить в период геологической разведки месторождения и позднее – службой шахтной геологии.

Для прогноза подвигания забоев предлагается использовать методику и средства, созданные сотрудниками лаборатории кафедры разработки пластовых месторождений Ленинградского горного института, а также методику долговременного и оперативного прогноза устойчивости кровли угольных пластов [8].

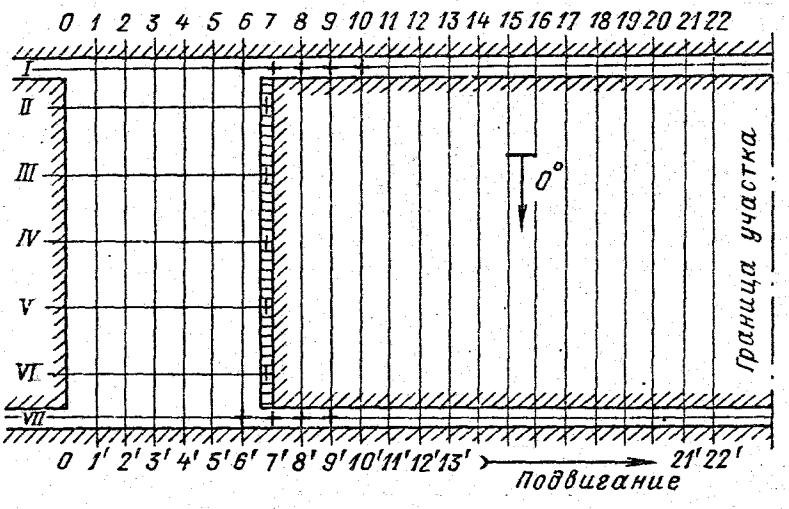


Рис. 1. Схема подземной наблюдательной станции для прогноза поверхностей ОМК

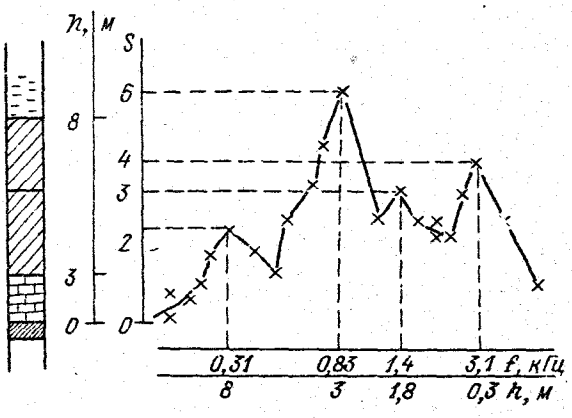


Рис. 2. Пример спектрограммы зондирования поверхностей ОМК, получаемых методом „Резонанс"

Система раннего предупреждения обрушений кровли в горных выработках включает несколько комплексов приборов и аппаратуры: "Резонанс" [3–5], экспресс-метод съемки сечений естественных полостей и горных выработок [7], аппаратуру дистанционного, оптико-поляризационного контроля деформаций выработок [5], аппаратуру подземного карротажа [6] и др.

Для долгосрочного прогнозирования естественных нарушений кровли наиболее предпочтительным является обратный порядок отработки очередного подготовленного столба.

Схема подземной наблюдательной станции представлена на рис.I. Точки пересечения профильных линий по простиранию и падению вдоль штреков и в лаве представляют реперы (пункты) неразрушающего зондирования кровли. Расстояние между реперами по длине штреков можно принимать сообразно обстоятельствам; по совокупности удобства работ и опыта зондирования можно рекомендовать это расстояние, равным I0 м. Зондирование производится неразрушающим способом с использованием методики и аппаратуры "Резонанс". Зондирование ведется двумя сотрудниками, время зондирования в одном пункте составляет примерно 0,5 ч.

Пример спектрограммы поверхностей ОМК представлен на рис.2 [3]. На шкале h показаны высоты от кровли штрека, на которых выявлены поверхности ОМК, соответствующие максимуму спектральной кривой, и геологическая колонка с расположением поверхностей ОМК в породах кровли. Зондирование кровли методом "Резонанс" можно вести на десятки метров, например на 20–30 м, но обычно важно знать строение непосредственной кровли в пределах до 3–4 м. Положение поверхностей ОМК в непосредственной кровле фиксируется практически точно, отклонения не превосходят нескольких сантиметров. Совокупность таких колонок по всей длине штреков позволяет получить продольные профили строения пород кровли в разрезе по откаточному и вентиляционному штрекам. Пример такого профиля по откаточному штреку представлен на рис.3. Помимо того, строятся поперечные профили залегания пород кровли по створам, например, по 3–3, 4–4, 5–5 и т.д. После этого переходят к построению прогнозных карт по отдельным этапам.

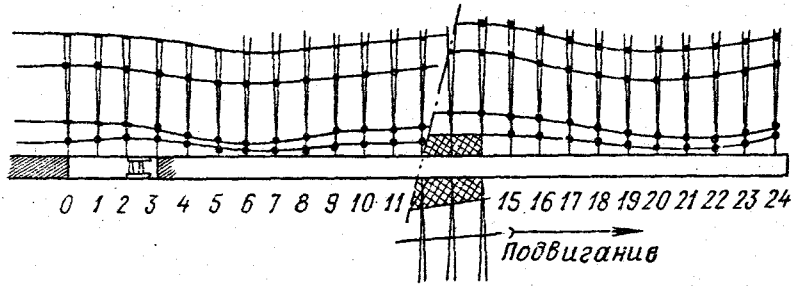


Рис.3. Пример построения продольного профиля по штреку по данным зондирования поверхностей ОМК методом „Резонанс"

Вначале по продольным и поперечным профилям, в плоскости пласта, по всей площади подготовленного к выемке столба строятся изолинии мощностей слоев кровли, выделяемых поверхностями ОМК, в результате чего получают основу прогнозных карт (одной или нескольких). Затем на этих картах по данным зондирования методом "Резонанс" и шахтной геологии наносятся зоны развитой трещиноватости и геологических нарушений.

Одновременно в пунктах зондирования (а при надобности и в дополнительных местах) производится съемка сечений подготовительных выработок

экспресс-методом [7], которая повторяется с заданной частотой, что позволяет определить участки выемочных штреков с аномальными скоростями деформаций. Совокупность результатов этих этапов позволяет оконтуривать на прогнозных картах потенциально опасные зоны (рис.4).

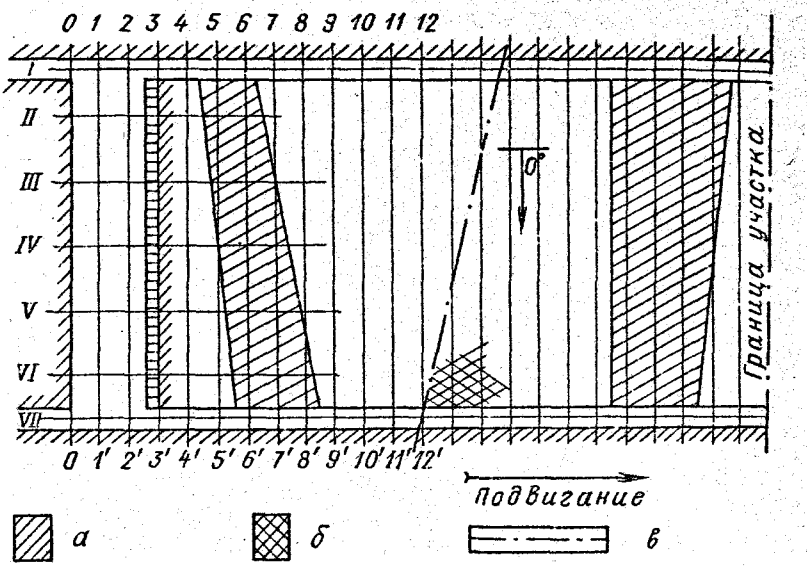


Рис.4. Карта результатов долгосрочного прогноза нарушений непосредственной кровли в пределах подготовленного столба: а - зона вывалов; б - зона трещин; в - тектонические нарушения

Далее необходимо определить степень устойчивости кровли в границах зон, выделенных на предыдущих этапах прогноза. В качестве критерия оценки устойчивости кровли целесообразно принять коэффициент запаса несущей способности кровли

$$n = \ell_{пр} / \ell_{ф} , \qquad (1)$$

где $\ell_{пр}$ - предельный пролет слоя (или пачки слоев); $\ell_{ф}$ - фактический пролет обнажения кровли.

Величины фактических пролетов всех выработок подготовленных столбов известны, за исключением максимальной величины фактического пролета кровли очистного забоя

$$\ell_{ф} = \ell_{п} + \ell_{к} + \ell_{от} , \qquad (2)$$

где $\ell_{п}$ - максимально возможное расстояние от края механической крепи до очистного забоя; $\ell_{к}$ - ширина захвата комбайна; $\ell_{от}$ - максимальная ширина обнажения кровли при отжиме.

Расчетная величина предельного пролета данного слоя или пачки слоев кровли определяется по методике А.А.Борисова [1,2].

Более привычно пользоваться понятием – коэффициент устойчивости $k_у$. Термин – коэффициент устойчивости кровли – получивший известное распространение, имеет смысл только как численный эквивалент запаса несущей способности, т.е.

$$k_у = n = \ell_{пр} / \ell_{ф} . \qquad (3)$$

Учитывая дефекты слоев кровли, изменение их мощности, трещиноватости, большие разбросы пределов прочности на изгиб (и растяжение) величину коэффициента устойчивости данного слоя (пачки слоев) следует принимать

$$k_у = \ell_{пр} / \ell_{ф} \geqslant 3 . \qquad (4)$$

Во всех случаях при $k_у < 3$ кровлю следует считать неустойчивой.

Затем на карте длительного прогноза в пределах опасных зон наносятся полосы шириной $\ell_{ф}$ параллельно будущему положению очистного забоя. Эти полосы должны перекрыть опасную зону по всей ее ширине. Если строение кровли в данной зоне не меняется, $\ell_{пр}$ можно определить один раз. Если же строение кровли по ширине опасной зоны изменяется, расчет $\ell_{пр}$ следует производить для каждой полосы отдельно. Устойчивость каждой полосы кровли определяется по формуле (I).

В результате получают карты долгосрочного прогноза, которые позволяют с большой степенью достоверности строить долгосрочные планы отработки данного столба как на ближайший год, так и на перспективу. При этом скорости подвигания лав на разных участках принимаются разными, в соответствии со сложностью строения кровли и трудностью ведения очистных работ. При необходимости метод позволяет вести также зондирование почвы пласта (рис.4).

Необходимо иметь карты длительного прогноза по всем добычным участкам данной шахты (рудника), что позволяет разработать оптимальный план добычи по всей шахте, который обеспечивает минимум одновременных простоев лав в целом по шахте.

Целью оперативного прогноза является заблаговременное составление достаточно достоверной картины строения непосредственной кровли впереди длинного очистного забоя, т.е. впереди механизированного комплекса, что позволяет практически исключить или свести к минимуму число возможных вывалов как в лаве, так и на ее сопряжениях с выемочными штреками.

Предлагаемый оперативный прогноз базируется не на расчетах, а на новейших способах физического зондирования массива и включает: определение в непосредственной кровле поверхностей ОМК по всей длине лавы и впереди нее; контроль изменений ОМК на сопряжениях; съемку контуров сечений выработок на сопряжениях; предотвращение подрезки кровли впереди очистного забоя комбайном; заблаговременное предупреждение о предстоящей осадке основной кровли и возможности отжима угля в лаве.

Оперативное зондирование можно начинать при любом положении очистного забоя, но лучше начинать его от разрезной печи.

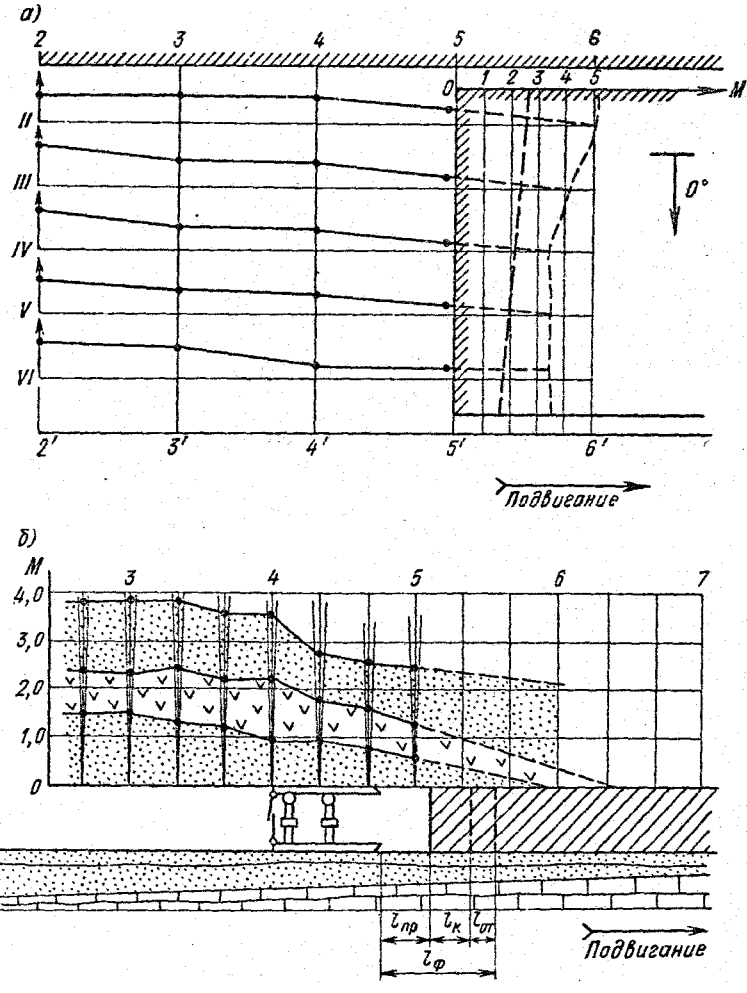


Рис.5. Карта результатов оперативного прогноза нарушений кровли непосредственно впереди очистного забоя: а – разрез в плоскости пласта; б – вертикальный разрез по линии IУ

Очередное зондирование поверхностей ОМК методом "Резонанс" производится из лавы, по профильным линиям II–УI, в пунктах, указанных на рис.I крестиками. В результате этого на вертикальных (нормальных) разрезах по профильным линиям II–УI достраиваются линии ОМК (рис.5, а) для профильной линии IУ. Необходимо отметить, что на рис.5, б показаны не литологические разности пород, а только линии ОМК, разные обозначения пород приняты для наглядности.

Прогноз строения непосредственной кровли впереди лавы целесообразно осуществлять на расстояние до 5 м. Для этого линии ОМК на всех верти-

кальных разрезах экстраполируются впереди лавы путем продолжения их в направлении предыдущих отрезков (пунктир на рис.5, б).

Построение карт изменений мощностей слоев непосредственной кровли по всем профильным линиям П-УI показано на рис.5, а. Здесь изменения мощности нижнего слоя непосредственной кровли (позади забоя) для наглядности показаны в плоскости пласта жирными, а начальное обнажение кровли тонкими сплошными линиями.

Прогноз расположения линий ОМК впереди лавы, на вертикальных разрезах по всем профильным линиям П-УI, определяется также методом экстраполяции (пунктир рис.5, а). Построение этих линий ОМК увязывается с результатами длительного прогноза.

Изучение вопроса показывает, что для обеспечения бесперебойности работы механизированных комплексов можно ограничиваться прогнозом строения непосредственной кровли впереди забоя в пределах прилегающей к очистному забою полосы шириной 3 м (рис.5, а). Такого опережения вполне достаточно для своевременного осуществления необходимых профилактических мероприятий. Систематические зондирования из лавы поверхностей ОМК позволяют периодически наращивать эти прогнозные карты, совершенствовать способы прогноза и оценки изменений строения кровли в периоды последующих подвиганий лавы.

Одновременно с зондированием ОМК в тех же пунктах производится съемка контуров сечений выработок, разработанным экспресс-методом [4] в пределах всей площади сопряжений лавы с выемочными штреками. Уточняется ориентировка зон геологических нарушений и их параметры.

Результаты определения мощности нижнего слоя непосредственной кровли могут быть полностью утрачены вследствие присечки комбайнами пород кровли, что приводит к уменьшению мощности нижнего слоя кровли и возрастанию вероятности его обрушений. К увеличению опасности вывалов может приводить также отжим угля.

Интенсивность нарушений непосредственной кровли в лавах, помимо указанных выше причин, зависит от нарастания ее сближений и осадок основной кровли, она возрастает непосредственно перед очередным разломом основной кровли. Раннее предупреждение о приближении момента осадки основной кровли рекомендуется осуществлять $\gamma-j$ -методом, с использованием методики и аппаратуры типа АКРШ [8]. Далее необходимо определить степень устойчивости кровли впереди лавы.

В пределах выявленных прогнозом потенциально опасных зон в непосредственной кровле степень устойчивости слоев, выделяемых поверхностями ОМК определяется коэффициентом устойчивости кровли k_y. Фактическая величина пролета данного слоя или пачки слоев определяется конкретными условиями и подсчитывается по формуле (2).

Учитывая дефекты слоев кровли, возможные изменения их мощности, трещиноватости, большие разбросы пределов прочности на изгиб (и растяжение), величину коэффициента устойчивости, который является коэффициентом запаса

несущей способности данного слоя (пачки), следует принимать $k_y \geq 3$. Во всех случаях при $k_y < 3$ кровлю считать неустойчивой. Следует оперативно определять и осуществлять необходимые технические мероприятия, обеспечивающие предотвращение или локализацию обрушений кровли.

По мере накопления опыта прогноза устойчивости кровли на данной шахте k_y следует корректировать, что позволит уточнить его надежную численную величину в данных условиях.

Большое значение имеет прогноз строения кровли впереди забоев подготовительных выработок (вынемочных штреков, бремсбергов, уклонов и др.) в период их проходки перед каждым следующим циклом.

Для этого необходимо: проводить зондирование поверхностей ОМК в непосредственной кровле методом "Резонанс" по всей длине выработки, например вынемочного штрека (см. рис.3); перед каждым проходческим циклом проводить зондирование ОМК в непосредственной кровле, у самого забоя; производить экстраполяцию линий ОМК впереди забоя выработки, для чего на чертеже линии ОМК экстраполируются графически на расстояние до 5 м впереди забоя штрека (выработки); на основе полученных результатов оценивать устойчивость кровли на прогнозируемом участке по формуле

$$k_y = S_{пр} / S_{ф} ,$$

где $S_{пр}$ – предельно допустимая расчетная площадь обнажения кровли у забоя; $S_{ф}$ – фактическая площадь обнажения кровли у забоя.

Учитывая оценочный характер расчета, его допустимо производить по формуле (4).

Выводы

1. План горных работ необходимо разрабатывать на основе долговременного прогноза, а не от достигнутого, как это обычно принимается. В результате прогноза месячные подвигания лавы будут, как правило, разными, в соответствии со сложностью геологических условий на данном участке разрабатываемого пласта.

2. Наличие планов горных работ, выполненных в соответствии с прогнозом, для ряда добычных участков позволяет произвести их взаимную увязку таким образом, чтобы добиться минимума одновременных простоев лав на разных участках, т.е. обеспечить более планомерную работу шахты и ее максимальную эффективность.

3. Совокупность разработанных нами и под нашим научным руководством методик и приборов для долгосрочного и оперативного прогноза представляет систему раннего предупреждения внезапных обрушений кровли и других опасных явлений.

4. Предложена надежная, научно обоснованная методика определения устойчивости кровли в опасных зонах.

5. Результаты зондирования в целях большей оперативности могут передаваться непосредственно в память ЭВМ для обработки и получения советов по оценке устойчивости кровли впереди забоев очистных и подготовительных выработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов А.А. Основные закономерности механических процессов в литосфере (в шахтах и естественных полостях) // Уголь, 1989, № 9.

2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М., Недра, 1980.

3. Борисов А.А., Гликман А.Г., Казакова В.Л. Геоакустические методы и средства исследований и контроля горных пород и процессов / Ленинградский горный ин-т. Л., 1984.

4. Борисов А.А., Гликман А.Г., Стародубцев А.А., Симанский И.А. "Резонанс" (прибор и аппаратура) // Уголь, 1989, № 9.

5. Борисов А.А., Федулин В.Л., Красильников М.Н. и др. Поляризационно-оптическая система дистанционного контроля за деформациями подземных сооружений // Уголь, 1989, № 9.

6. Борисов А.А., Кимков В.И. Метод контроля за напряженно-деформированным состоянием массива // Уголь, 1989, № 9.

7. Красильников М.Е., Федулин В.Л., Борисов А.А. и др. Экспресс-метод съемки сечений выработок и естественных полостей // Уголь, 1989, № 9.

8. Разработать метод прогноза проявлений горного давления при отработке свит сближенных пластов: Отчет о НИР / Ленинградский горный ин-т; Отв. исполн.: А.А.Борисов, А.Г.Гликман, В.Л.Казакова. ОЦО 47/82; № ГР 01825064262. Л., 1985.