

УДК 622.831

И.Е. Кольчик, Н.И. Волошина, А.В. Молодецкий, А.Е. Кольчик

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ РАЗГРУЗКИ

Институт физики горных процессов НАН Украины

Предложен способ управления труднообрушаемой кровлей с целью формирования и постоянного функционирования локальной разгруженной зоны (ЛРЗ) впереди зоны временного опорного давления. Приведены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) угольного пласта в ЛРЗ на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС).

Ключевые слова: угольный пласт, разгруженная зона, основная кровля, разрушение, деформирование

В Донецком угольном бассейне достаточно широкое распространение имеют угольные пласты с труднообрушаемыми и весьма труднообрушаемыми кровлями. Еще на первую половину 80-х гг. прошлого столетия в Донбассе насчитывалось до 200 таких шахтопластов [1], что составляло 18,7 % от общего количества разрабатываемых на тот период. Анализ условий залегания свидетельствует, что с увеличением глубины ведения работ удельное количество шахтопластов с труднообрушаемыми и весьма труднообрушаемыми кровлями растет (рис. 1). Следует также учесть, что с увеличением глубины с 200 до 1400 м прочность песчаников (по данным ДонУГИ) повышается в 1,3–2,5 раза в зависимости от марочного состава сопутствующих им углей. Таким образом, вопросы, связанные с созданием эффективных параметров очистной выемки и с повышением степени безопасности ведения работ на пластах с труднообрушаемыми кровлями с учетом ежегодного увеличения средней глубины разрабатываемых шахтопластов, будут сохранять свою актуальность и в дальнейшем.

Отработка угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями на протяжении всей истории подземной угледобычи длинными очистными забоями представляла достаточно большие сложности. До недавнего времени эти сложности заключались в первую очередь в необходимости принудительного разупрочнения труднообрушаемых слоев во избежание чрезмерной пригрузки забойной крепи. При этом принудительное обрушение породной консоли не позволяло формироваться локальной разгруженной зоне в угольном пласте впереди зоны временного опорного давления, возникающей в результате изгиба труднообрушаемого породного слоя основной кровли.

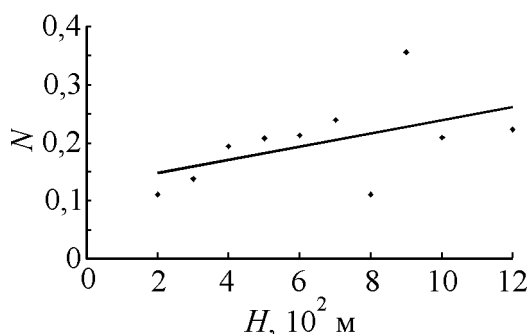


Рис. 1. Изменение удельного количества труднообрушаемой и весьма труднообрушаемой кровель N от глубины залегания H без учета шахтопластов Центрального района Донбасса

С началом широкого применения современных механизированных комплексов и с достижением высоких скоростей подвигания очистных забоев возникла возможность наблюдать за поведением мощных и прочных породных слоев при их зависании на больших площадях в выработанном пространстве. В горно-геологических и горнотехнических условиях ПАО «Шахтоуправление «Покровское» наблюдается изгиб песчаника, являющегося основной кровлей угольного пласта d_4 [2]. Изгиб отмечается в глубине массива при зависании в выработанном пространстве протяженной консоли, а его величина достигает 12 см. Под зоной изгиба в нижележащих угольных и породных слоях формируется область разгрузки и расслоения пород (полость Г. Вебера), которая заполняется метаном и может служить техногенным коллектором [3]. В данной ситуации важно знать характер изменения газопроницаемости угольного пласта при попадании его в зону разгрузки.

Ранее сотрудниками Института физики горных процессов НАН Украины были проведены опыты по установлению газопроницаемости нагруженных угольных образцов с различной ориентацией естественных трещин [4]. При этом использовали следующую схему нагружения образцов: $\sigma_1 = 50$ МПа, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0,5 \sigma_1$. После выполнения указанной программы образец разгружали по оси действия давления σ_3 . В процессе нагружения и разгрузки через образец пропускали сжатый воздух под давлением 0,6 МПа.

Данными исследованиями было установлено, что угольные образцы в свободном состоянии имеют газопроницаемость в направлении, параллельном плоскостям естественных трещин, в 8–10 раз большую, чем в направлении, перпендикулярном им. Также выявлено, что разгрузка одной грани образца с системами естественных трещин, ориентированных в любом направлении, приводит к тому, что параллельно ей образуются новые системы трещин. Однако полученные результаты нельзя в полной мере отнести к угольному пласту, пребывающему в ЛЗР, поскольку в отличие от примененной модели нагружения в природных условиях пласт не испытывал значительных пригрузок перед разгрузкой по одной из осей нагружения, а также разгрузка производилась по минимально нагруженной оси σ_3 . В связи с этим с целью более детального изучения НДС угольного пласта в ЛЗР было выполнено моделирование на УНТС процесса нагружения угольных образцов по следующим двум схемам:

- 1) $\sigma_1 = 20$ МПа, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0,5\sigma_1$;
- 2) $\sigma_1 = 30$ МПа, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0,5\sigma_1$.

После достижения заданных нагрузок плоскость, перпендикулярную оси нагружения σ_1 , разгружали до нуля. Исследования проводили на угле марки Г, отобранном из пласта h_6^1 – «Смоляниновский» шахты им. А.А. Скочинского на глубине 1200 м. Моделируемая глубина разработки составляла 800 и 1200 м. Снижение в ЛЗР σ_1 от γH до 0 соответствует залеганию труднообрушаемого породного слоя непосредственно над разрабатываемым угольным пластом.

Результатом нагружения по приведенным схемам стало интенсивное образование сети трещин, параллельных плоскости напластования. На рис. 2 представлены образцы, извлеченные из установки после окончания моделирования. На обоих образцах отчетливо видны трещины техногенного происхождения. Образцы, испытавшие разгрузку при напряжениях, соответствующих глубине 1200 м (вторая схема нагружения), разделены большим количеством трещин, перпендикулярных вертикальной составляющей, по сравнению с первой схемой нагружения (рис. 2,б).

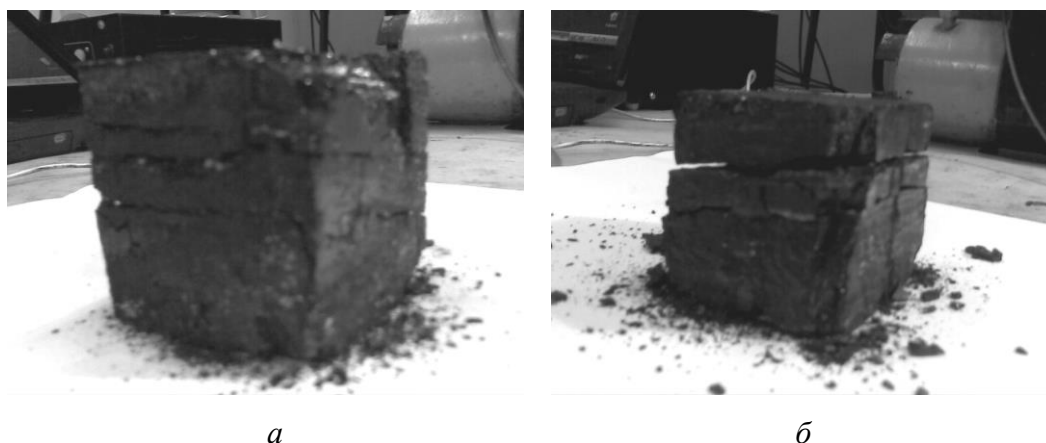


Рис. 2. Вид образцов угля после нагружения по первой (а) и второй (б) схемам

Подобная схема разрушения угольных образцов при разгрузке предопределяет наиболее вероятный путь движения метана из разрабатываемого пласта, находящегося в ЛРЗ. Выделяющийся из угля метан будет перемещаться по сети техногенных трещин в выемочные выработки (в первую очередь в вентиляционный штрек) [3]. Извлекать этот метан наиболее целесообразно при помощи дегазационных скважин, пробуренных под углом к напластованию и на своем протяжении вскрывающих все пачки угольного пласта [5]. Данный способ дегазации разработан для извлечения метана из угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями именно в ЛЗР. Можно с уверенностью утверждать, что это не единственный возможный способ управления состоянием угольного пласта и вмещающих пород, который мог бы быть эффективно применен в условиях ЛЗР. Однако любой подобный способ требует соблюдения условия непрерывного существования ЛЗР – условия, обеспечить которое известными способами управления труднообрушаемой основной кровлей невозможно. Постоянное наличие в выемочном поле ЛРЗ возможно лишь при зависимости в выработанном

пространстве породной консоли основной кровли достаточной для этого протяженности [6] при отсутствии значительных колебаний ее величины. Основными параметрами технологии очистных работ, влияющими на протяженность ЛЗР и величину ее периодических колебаний, являются скорость подвигания лавы и способ управления кровлей.

Предлагаем следующий способ управления труднообрушаемой кровлей разрабатываемого угольного пласта, целью которого является обеспечение постоянной протяженности ЛЗР (рис. 3).

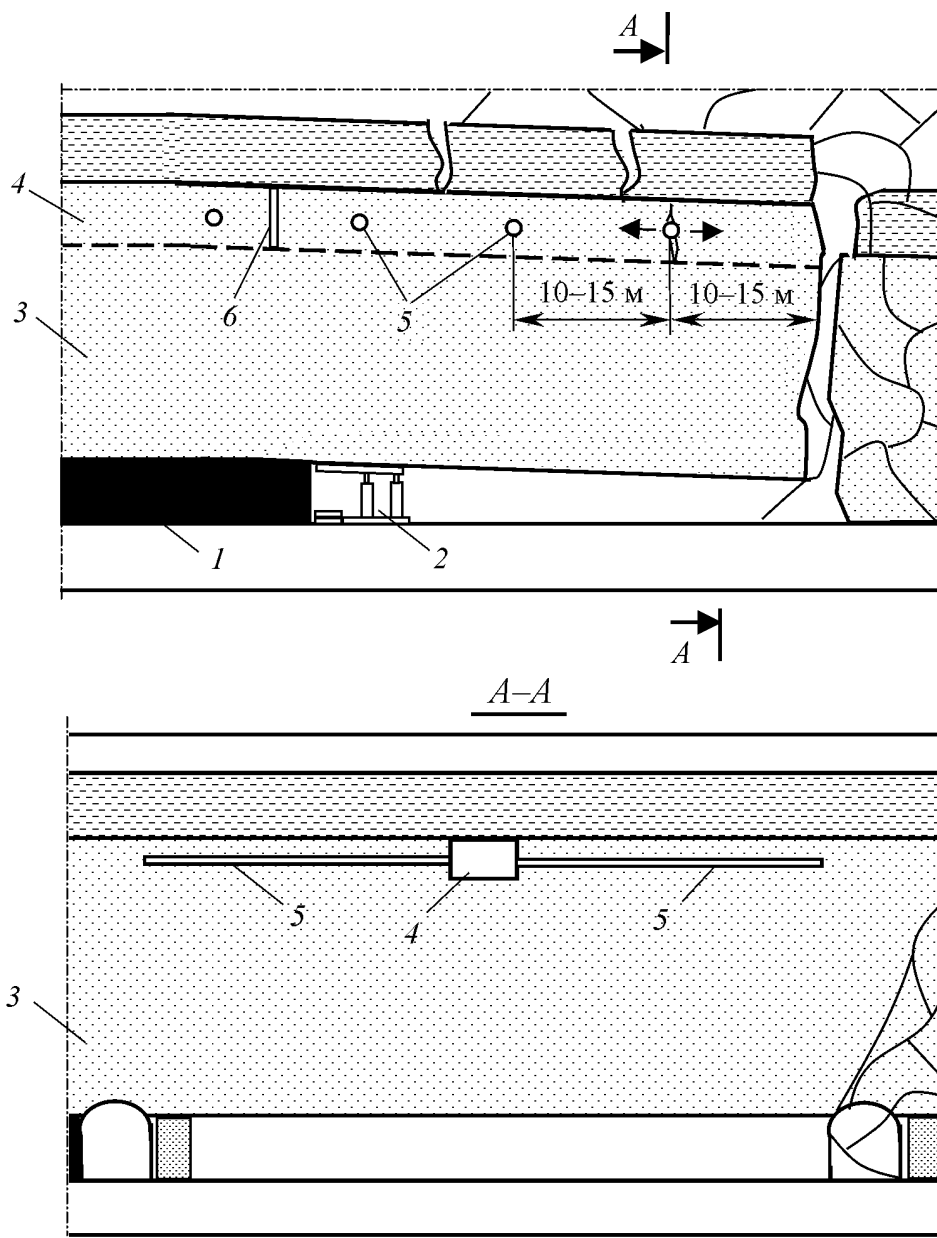


Рис. 3. Схема расположения отсекающих скважин в способе управления труднообрушаемой кровлей периодическим сокращением породной консоли: 1 – угольный пласт; 2 – очистной забой; 3 – труднообрушаемая кровля; 4 – вспомогательная полевая выработка; 5 – отсекающие скважины; 6 – перемычка

Способ включает в себя бурение из заранее пройденной полевой вспомогательной выработки в труднообрушаемый породный слой отсекающих скважин, располагаемых параллельно очистному забою, подключение скважин к гибкому трубопроводу и их заполнение твердеющим, увеличивающимся в объеме составом после достижения породной консолю заблаговременно установленной протяженности. Увеличивающийся в объеме состав создает давление на стенки скважины и формирует трещину в верхней части породного слоя основной кровли угольного пласта. Длина трещины должна обеспечивать дальнейшее ее прорастание под действием растягивающих напряжений, возникающих на границе отсекаемого от породной консоли блока под действием силы гравитации на данный блок.

Выработка, из которой осуществляется бурение отсекающих скважин, проводится на всю длину выемочного столба до начала ведения очистных работ и располагается у верхней границы подрабатываемого труднообрушаемого породного слоя. Проветривание данной выработки производится при помощи вентиляторов местного проветривания и гибкого вентиляционного трубопровода. В качестве крепи для нее целесообразно использовать деревянную трапезиевидную крепь либо деревянные верхняки, укладываемые в специально подготавливаемые ниши в кровле труднообрушаемого слоя по обе стороны от выработки. Погашается выработка участками при отсечении очередного блока от породной консоли. Поскольку доступ людей в хвостовую часть выработки, располагающуюся на подработанной части породного слоя, должен быть воспрещен, бурение очередной пары скважин и подключение их к гибким трубопроводам осуществляют еще на этапе, когда данная пара не подработана.

Целью проведения вспомогательной выработки является не только применение удобной и эффективной схемы расположения отсекающих скважин, но и решение еще ряда сопутствующих вопросов. В частности, это доразведка труднообрушаемого слоя на предмет разрывных нарушений, их локализация и обработка скрепляющими составами.

Дополнительный эффект от выработки в основной кровле можно получить, если производить изолированный отвод метана из погашаемой части выработки, поскольку газ, высвобождающийся из подработанных породных и угольных пластов, в первую очередь будет заполнять данную полость и лишь потом мигрировать в лаву. О пользе изолированного отвода метана именно через вспомогательную выработку можно говорить также на основании того, что концентрация его в отводимой по трубопроводу струе будет значительно выше, чем при размещении трубопровода в вентиляционном штреке лавы, поскольку утечки воздуха в выработанное пространство в этих двух случаях несоизмеримы. Кроме того, исключение при помощи своевременного перехвата метана возможности его скопления в выработанном пространстве значительно снижает и вероятность выноса газа в лаву с воздушной струей при обрушении пород кровли на значительных площадях. В це-

лом же использование данной выработки для дегазации ограничивается необходимостью ее погашения за проекцией створа лавы, поэтому она не может расцениваться как альтернатива газосборной выработке в разработанном ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины и апробированном на шахте им. А.Ф. Засядько способе дегазации угольных пластов и вмещающих пород с использованием газосборной выработки [7].

Использование в качестве инициатора роста отсекающих трещин расширяющихся составов, а не взрывчатых веществ обусловлено возможностью дистанционно заполнять скважины требуемыми составами по трубопроводам, а также стремлением повысить уровень безопасности работ, исключив из перечня выполняемых мероприятий взрывные работы, избежать простоев лавы на время производства взрывания, но главное – не допустить дополнительных динамических воздействий на породную консоль, способных спровоцировать рост трещин в зоне максимальных растягивающих напряжений.

Количество скважин, необходимое для обрушения блока породной консоли, определим, исходя из следующих соображений. Величина растягивающих напряжений в породном слое при рассмотрении его как консольной балки с жестким защемлением определяется по формуле [8]:

$$\sigma_p = \frac{3ql_{\text{пр}}^2}{h^2}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где q – распределенная нагрузка на породный слой, $q = \gamma \cdot h$, МН/м²; γ – объемный вес породы, МН/м³; $l_{\text{пр}}$ – предельный пролет слоя перед обрушением, м; h – мощность труднообрушаемого породного слоя, м.

Согласно критерию, вытекающему из уравнения Гриффитса–Орвана для условий плоской деформации [9], разрушающее материал напряжение можно получить из выражения

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{2E\Gamma}{\pi(1-\nu^2)a}}, \quad (2)$$

где a – критическая длина трещины, м; E – модуль упругости, МПа; Γ – поверхностная энергия тела, Дж/м²; ν – коэффициент Пуассона.

Полагая, что $\sigma_p = \sigma_f$ и подставляя (1) в (2), получаем следующее выражение для определения a :

$$a = \frac{2h^4 E\Gamma}{9\pi q^2 l_{\text{пр}}^4 (1-\nu^2)}, \text{ м}. \quad (3)$$

При этом в строительной механике для условий применения невзрывных разрушающих составов (НРС) при необходимости разрушения крепких горных пород получена эмпирическая формула, определяющая протяженность возможной трещины при воздействии на массив одного шпура с НРС, вошедшая в руководящий документ [10]:

$$a_{\text{нрс}} = B = 100 \frac{d}{\sigma_p}, \quad (4)$$

где B – шаг шпуров в рядах, м; σ_p – предел прочности горной породы на растяжение, $\sigma_p \approx 0,05 \sqrt[3]{(10\sigma_{\text{сж}})^2}$, МПа; $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности горной породы на сжатие, МПа; d – диаметр шпура, см.

Тогда количество скважин в ряду определяет следующее отношение:

$$n = \frac{a}{a_{\text{нрс}}}, \text{ шт.} \quad (5)$$

При $0 < n \leq 1$ принимается одна скважина, при $k < n \leq k+1$ принимаются $k + 1$ скважин.

Оценивая разработанный способ управления труднообрушаемой кровлей в целом, в нем можно выделить, кроме описанных ранее неоспоримых преимуществ перед аналогичными применяемыми способами, также и недостатки. Основным из них являются значительные материальные затраты на его осуществление (на проведение вспомогательной выработки, на состав-наполнитель для отсекающих скважин, на бурение самих отсекающих скважин и на возможное упрочнение зон с разрывной нарушенностью). Сравнение по затратам, к примеру, со способом управления кровлей полным обрушением было бы не в пользу нового способа, однако в данном случае прямое сравнение при установлении экономической целесообразности применения того либо иного способа является ошибочным. В сравнении следует учитывать экономическую эффективность от возможного применения мероприятий по дегазации разрабатываемого пласта [5], по улучшению состояния выемочных выработок, увеличению интенсивности очистных работ [11] и многих других, предназначенных для эффективного использования лишь в локальной разгруженной зоне, создаваемой предложенным способом управления кровлей.

Выводы

1. При попадании угольного пласта в локальную зону разгрузки в нем начинается интенсивное развитие техногенной трещиноватости, совпадающей по направлению с плоскостью напластования.

2. Основными параметрами технологии очистных работ, влияющими на протяженность локальной разгруженной зоны и величину ее периодических колебаний, являются скорость подвигания лавы и способ управления кровлей.

3. Разработан способ управления труднообрушаемой основной кровлей угольного пласта, основанный на закономерностях формирования данным типом породных слоев при их подработке, локальной разгруженной зоны в обрабатываемом угольном пласте.

1. *Прогнозний каталог шахтопластов Донецького угольного басейна з характеристикою горно-геологічних факторів і явлень / ІГД ім.А.А. Скочинського. – Москва, 1983. – 500 с.*
2. *Кольчик Е.І. Сдвигення земної поверхності при великих швидкостях обробки вугільних пластів / Е.І. Кольчик, В.Н. Рєва, А.Е. Кольчик і др. // Фізико-технічні проблеми горного виробництва. – 2009. – Вип. 12. – С. 47–54.*
3. *Кольчик Е.І. Вплив труднообрушуваної основної кровлі вугільних пластів на метановиділення в виємочні виробки / Е.І. Кольчик, Н.І. Волошина, А.Е. Кольчик // Вісті Донецького гірничого інституту. Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – 2013. – №1(32). – С. 178–182.*
4. *Алексєєв А.Д. Прогноз і управління станом горного масиву / А.Д. Алексєєв, Н.С. Сургай. – К.: Наукова думка, 1994. – 200 с.*
5. *Патент на винахід № 94174. Спосіб дегазації вугільного пласта / Є.І. Кольчик, Н.І. Волошина, І.Є. Кольчик, І.П. Кучерук, А.Є. Кольчик. Інститут фізики гірничих процесів НАН України. МПК (2011.01), E21F 5/00. 11.04.2011, Бюл. №7.*
6. *Кольчик Е.І. Устойчивість виємочних виробок при великих швидкостях подвигання лав / Е.І. Кольчик// Фізико-технічні проблеми горного виробництва. – 2008. – Вип. 11. – С. 17–21.*
7. *СОУ 10.1 054 11357.006.2007. Дегазація вугільних пластів та вміщуючих порід з застосуванням газозбірної виробки. Схеми дегазації. – К. Мінвуглепром України, 2008. – 28 с.*
8. *Бєляєв М.Б. Сопротивлення матеріалів / М.Б. Бєляєв. – М., 1965. – 856 с.*
9. *Хєнкєль К. Технічне застосування механіки руйнування / К. Хєнкєль. – М.: Металлургія, 1974. – 64 с.*
10. *Руководство по применению невзрывчатых разрушающих средств для разборки строительных конструкций и каменных горных пород / ВНИИстрой им. П.П. Будникова Минстройматериалов СССР. – Киев, 1988. – 48 с.*
11. *Кольчик І.Є. Спосіб управління труднообрушуваною кровлею / І.Є. Кольчик // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Вип. 13 (ч. I) / Під заг. ред. чл.-кор. НАН України А.В. Анциферова. – Донецьк, 2013. – Ч.1, № 13. – С. 100–106.*

І.Є. Кольчик, Н.І. Волошина, А.В. Молодецький, А.Є. Кольчик

СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЛОКАЛЬНОЇ ЗОНИ РОЗВАНТАЖЕННЯ

Запропоновано спосіб управління покрівлею, що важко обрушується, з метою формування та постійного функціонування локальної розвантаженої зони (ЛРЗ) попереду зони тимчасового опорного тиску. Наведені результати моделювання напружено-деформованого стану (НДС) вугільного пласта в ЛРЗ на установці нерівно компонентного тривісного стиснення (УНТС).

Ключові слова: вугільний пласт, розвантажена зона, основна покрівля, руйнування, деформування

I.D. Kolchik, N.I. Voloshina, A.V. Molodetsky, A.E. Kolchik

WAY TO ENSURE SUSTAINABLE PARAMETERS OF LOCAL DISCHARGE ZONES

A method of managing a roof that falls hard, aims formation and continuing operation of local unloading zone (LUZ) in front of a temporary zone reference pressures. The results of simulation of the stress - strain state (SSS) coal seam at LUZ for installation alignment component triaxial compression.

Keywords: coal seam, unloaded zone, the main roof, destruction, deformation