

2. Повышение эффективности проветривания угольных шахт с высоконагруженными лавами / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, В.В. Радченко, И.А. Яценко, И.А. Ефремов, О.С. Торопчин, Т.В. Бунько, Н.В. Карнаух, Е.Я. Самойленко, В.Г. Красник, А.В. Боровский, И.Е. Кокоулин. – Днепропетровск, 2004. – С. 144 – 175.

УДК 622.063.4

Канд. техн. наук О.В. Рябцев
(ИГТМ НАН Украины)

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ РАССЛОЕНИЯ, НА
УСЛОВИЯ УГЛЕДОБЫЧИ В ГАЗОНАСЫЩЕННОМ
МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

Наведено оцінку гірничотехнічних та гірничо-геологічних факторів та умов, що впливають на особливості формування порожнин розшарування та на умови видобутку вугілля у газонасиченому масиві гірських порід.

**ESTIMATION OF INFLUENCE OF THE FACTORS DETERMINING
FEATURES OF FORMATION OF CAVITIES OF STRATIFICATION, ON
CONDITIONS OF COAL OUTPUT IN A FILE OF ROCKS WHICH ARE
SATATED WITH GAS**

The estimation of mine technical and mountain - geological factors and conditions which influence features of formation of cavities of stratification and on conditions of a coal mining in a file of rocks which are sated with gas is resulted.

Механизм процесса формирования и развития полостей расслоения в породном массиве определяется качественными и количественными характеристиками и показателями напряженно-деформированного состояния подработанной толщи слоистых пород и динамики его изменения во времени и пространстве.

Поэтому к определяющим процесс формирования и развития полостей расслоения горнотехническим параметрам и факторам, относится весь их комплекс, характеризующий параметры сдвижения слоистого, разномодульного горного массива. Однако необходимо учитывать, что не только качественные, но и количественные показатели процесса расслоения пород с образованием полостей могут иметь характерные особенности, адекватные специфическим условиям ведения горных работ, другими словами быть имманентной характеристикой конкретного добычного участка во взаимоувязке со всем комплексом горнотехнических, производственных условий и фактора времени.

Известные к настоящему времени результаты немногочисленных исследований, посвященных изучению некоторых аспектов процесса образования полостей расслоения в горном массиве, находящемся в зоне влияния горных работ, имеют, в основном, характер методологических и аналитических обобщений [1 – 6]. Поэтому опубликованные данные позволяют оценить только качественную сторону данного вопроса, которая сводится к следующему.

Длина лавы определяет нормальную нагрузку на слои от массы зависающих пород и, следовательно, величину опусканий, от которых зависит форма образующихся полостей расслоения. При небольшой длине лавы полости расслоения на контактах слоев образуются по всей длине лавы и имеют протяженность практически по всей длине отрабатываемого столба. При увеличении длины лавы вначале вблизи забоя лавы полости образуются по всей длине лавы, затем на некотором удалении от забоя они закрываются. Полость может сохраняться вблизи контура выработки и иметь небольшую ширину.

При изменении скорости подвигания размеры полостей, которые образуются позади очистного забоя, увеличиваются по ширине и высоте.

При изменении способа управления кровлей с полного обрушения на закладку опускания пород надугольной толщи уменьшаются, что сопровождается уменьшением объема полостей расслоения.

При изменении формы и расположения очистного забоя по отношению к элементам залегания изменяются и формы образующихся в плоскости напластования полостей расслоения.

Наличие выработанного пространства, примыкающего к отрабатываемому столбу, вызывает кратковременное образование полости вблизи кромки забоя лавы и целика, примыкающего к одной из сторон отрабатываемого столба.

Наличие зон повышенного горного давления, расположенных в пределах отрабатываемого столба, резко изменяет процесс формирования полости расслоения в зоне влияния этой зоны.

Наличие надработки и подработки, как правило, приводит к увеличению ширины зоны опорного давления и тем самым уменьшает объем формирующейся полости.

Из краткого анализа рассмотренных факторов следует, что для определения размеров и расположения границ аккумулирующих полостей по отношению к контуру выработки необходимо делать прогноз для конкретных условий и заданных технологических параметров ведения очистных работ.

Некоторые качественные особенности процесса формирования полостей расслоения в горном массиве приведены в работе [6] на основании анализа результатов расчетов на тестовом примере (искусственная стратиграфическая колонка, одиночная лава).

При выполнении данной работы рассматривалась толща пород, которая представляет собой слои пород, расположенные над отрабатываемым пластом, выше которых залегает порода-мост. Естественно, что мощность слоев и расстояния от разрабатываемого пласта до породы-моста различны.

Породы-мосты при подработке воспринимают вес вышерасположенных тонкослоистых пород. Ниже породы-моста над выработанным пространством возникают полости расслоения, а выше его нормальные нагрузки близки к нагрузкам в нетронутом массиве. Среди технологических параметров, влияющих на процесс сдвижения горных пород, выделяют расположение лавы относительно выработанного пространства.

Из-за различной жесткости слоев пород в слоистом подрабатываемом массиве предполагается развитие полостей расслоения вслед за подвиганием очистного забоя и закрытие их на некотором расстоянии от линии забоя.

При отработке одиночной лавы (расположенной в массиве) в подрабатываемом горном массиве происходит образование полости вслед за подвиганием очистного забоя на небольшом расстоянии от линии забоя (8 – 25 м) и вблизи выемочных штреков. Полость расслоения передвигается вслед за подвиганием очистного забоя и закрывается на некотором расстоянии от линии забоя равном примерно длине лавы. Максимальная высота полости располагается над серединой выработки и между смежными слоями определяется как разность максимальных опусканий этих слоев. Полости появляются в том случае, когда у смежных слоев жесткость верхнего слоя больше нижнего. С течением времени (позади забоя лавы) на расстоянии равном примерно длине лавы увеличиваются опускания слоев, высота полости уменьшается и затем над серединой выработки исчезает (слои смыкаются), но остается вдоль штреков. Давление метана в полости возрастает, и он вытесняется к границам очистных работ.

Процесс формирования полостей и их размеры изменяются, если лава примыкает к выработанному пространству. Полость располагается в выработанном пространстве по границе очистных работ. После отработки первого столба с течением времени подработанные породы над серединой выработанного пространства опускаются, полость закрывается. При отработке второй лавы полость формируется по границам очистных работ и движется вслед за забоем. При увеличении ширины выработанного пространства до равного длине двух лав полость над серединой выработанного пространства закрывается.

При отработке лавы, примыкающей с двух сторон к выработанному пространству, в нем формируются две полости. Одна из них расположена по падению пласта (лава движется по простирацию) у границ очистных работ. Вторая полость подковообразной формы перемещается вслед за забоем лавы и как бы обволакивает выемочный столб.

При повышении скорости подвигания забоя максимальная высота полости расслоения над серединой выработки увеличивается, а ширина ее за счет смещения границ опорной зоны в сторону выработанного пространства уменьшается.

С уменьшением мощности верхнего жесткого слоя (породы-моста) размеры полости заметно уменьшаются. Изменение размеров полости расслоения над серединой очистной выработки в зависимости от отношения мощности породы-моста к мощности основной кровли сводится к следующим особенностям.

Соотношение мощности слоев в пределах 1:5 играет определенную роль в формировании полостей и их размеров. При мощности основной кровли 25 м и породы-моста 35 м высота полости над серединой лавы в данных условиях примерно равна 220 мм. При уменьшении мощности основной кровли до 12 м, как показали расчеты, величина расслоения пород уменьшается до 30 – 40 мм. Ширина полости с изменением этого отношения изменяется приблизительно прямо пропорционально с 167 до 176 мм при мощности основной кровли мень-

шей или равной 10 м происходит смыкание слоев, что приводит к образованию двух полостей у границ очистной выработки.

Анализ результатов расчетов показывает, что в рассматриваемых условиях с увеличением длины лавы в пределах 120 – 200 м площадь полости вначале увеличивается, достигает максимума при длине лавы 160 – 180 м, затем вследствие смыкания слоев уменьшается. При мощности слоя породы основной кровли 5 м уменьшение площади полости в рассматриваемом сечении наблюдается при длине лавы большей или равной 150 м.

Таким образом, с увеличением длины лавы вначале площадь полости в рассматриваемом сечении увеличивается, затем уменьшается до полного закрытия полости.

На основании выполненного анализа можно сделать следующие выводы:

- на формирование полостей расслоения оказывают существенное влияние технологические параметры (длина лавы, скорость подвигания очистного забоя, расположение обрабатываемого столба по отношению к выработанному пространству);

- полости расслоения образуются ниже породы-моста и максимальная высота их зависит от соотношения жесткостей породы-моста и нижележащих слоев;

- полости расслоения выше одиночной породы-моста не образуются, над ним распределение нормальных нагрузок близко к силам гравитации;

- в первоначальный момент, когда лава отходит от разрезной печи, размеры полости при прочих равных условиях зависят от скорости подвигания забоя лавы.

Учитывая рассмотренные особенности формирования полостей расслоения в горном массиве, определение количественных показателей этого процесса необходимо производить применительно к каждому конкретному добычному участку на основании фактических стратиграфических колонок с учетом используемых технологических параметров ведения очистных работ, в том числе с учетом фактора времени.

Условия угледобычи в газонасыщенном горном массиве в общем случае принципиально отличаются от негасонасыщенных массивов двумя аспектами. Первый заключается в том, что деформирование и разрушение газонасыщенных пород имеет особенности по сравнению с деформированием и разрушением осадочных пород, не содержащих метана, поскольку прочностные характеристики газонасыщенных пород ниже аналогичных в негасонасыщенных [7]. Это необходимо учитывать при прогнозе напряженно-деформированного состояния массива и динамики его изменения во времени, поскольку последнее определяет, в том числе условия механизма процессов формирования и развития полостей расслоения.

Второй аспект определяется необходимостью осуществления дополнительной технологической операции – дегазации угольных пластов и вмещающих пород, а также выработанного пространства.

Дегазационные работы должны быть взаимосвязаны с процессом сдвижения слоистого массива и с факторами, определяющими условия возникновения и

развития полостей расслоения в окружающем горном массиве. Они сводятся к следующему [8 – 11].

Газопроницаемость пластов резко возрастает при их подработке. Повышенное газовыделение из подработанных пластов происходит в зонах сдвижения надугольной толщи позади очистного забоя.

Сдвигение горных пород над очистной выработкой происходит в виде последовательного изгиба плит, жестко защемленных по контуру. Нормальные нагрузки на уровне слоев пород распределяются неравномерно. В зоне сдвижения надугольной толщи выделяются характерные точки, в которых эти нагрузки достигают максимума (опорная зона), уменьшаются до нуля (точка перегиба оси слоев) и возрастают до нагрузок нетронутого массива (ось выработки). Изгиб слоев происходит с горизонтальными подвижками относительно друг друга, величина которых зависит от мощности пласта, жесткости слоя, способа управления кровлей. Эти подвижки изменяются по длине лавы, в направлении продольной оси штреков и по мощности надугольной толщи. Максимальные горизонтальные подвижки наблюдаются в средней части лавы вблизи разрабатываемого пласта. По мере приближения к сопряжениям со штреками лавы и удаления от пласта эти подвижки уменьшаются.

Горизонтальные перемещения на контактах двух слоев пород приводят к смещению скважин на величину, большую их диаметра, и в результате этого ее перерезают и она выходит из строя. В связи с этим при выборе взаимного расположения скважин необходимо учитывать горизонтальные перемещения слоев относительно друг друга.

При неоднородных породах толщи после подработки ниже породы-моста образуются полости расслоения, в которых скапливается метан. Размеры этих полостей, как было показано ранее, зависят от многих факторов и распространяются над выработанным пространством до границы опорной зоны, в качестве которой используются точки перегиба осей слоев. Над выработанным пространством возможность смыкания полостей в значительной степени зависит от длины лавы, скорости подвигания забоя. Для отсоса метана забои дренажных скважин следует размещать вблизи границы этих слоев. Поэтому, чтобы выбрать схему дегазации и рационального расположения скважин, необходимо знать основные параметры сдвижения и их изменения в зависимости от принятой технологии ведения работ в конкретных геологических условиях.

Таким образом, при известной картине распределения нормальных нагрузок и установленных мест расположения характерных точек сдвижений в конкретных условиях можно выбрать рациональное расположение скважин для дегазации пластов при подработке и наработке и обеспечить надежность их эксплуатации. Основным мероприятием по снижению газообильности выемочных участков является дегазация сближенных пластов и вмещающих пород. Каптируемый из сближенных пластов метан составляет около 80 % общего количества метана, добываемого всеми способами дегазации. При подработке вышележащих пород очистными работами различают три зоны, определяющие области применения дегазации сближенных пластов и выработанных пространств:

- зона беспорядочного обрушения, распространяемая на пологом и наклонном падении на расстояние $(4 - 6)m$ (m – мощность разрабатываемого пласта, м) от разрабатываемого пласта;

- зона прогиба пород с разрывом их сплошности и образованием вертикальных трещин, распространяемая на расстояние $(20 - 30)m$;

- зона прогиба горных пород без разрыва их сплошности.

Пласты, залегающие в зоне беспорядочного обрушения, не подлежат дегазации. В этом случае дегазируются выработанные пространства.

Пласты, залегающие в пределах третьей зоны, дегазировать нецелесообразно, так как метан из нее не поступает в выработки разрабатываемого пласта.

Если породы верхнего слоя прочнее пород нижнего слоя, при их подработке образуются пустоты Вебера, наличие которых может способствовать повышению эффективности дегазации сближенных пластов при условии, что время до их закрытия больше срока службы дегазационных скважин. Время до закрытия пустот Вебера составляет 10 – 15 суток от момента их образования. При столбовой системе разработки с бурением скважин навстречу очистному забою в неустойчивых породах срок службы скважин снижается до 10 суток, иногда и менее.

При столбовой системе разработки и высокой скорости подвигания очистного забоя эффективность дегазации в 1,5 – 2,0 раза ниже, чем при сплошной системе.

Если размеры подготовительных выработок не позволяют разместить буровое оборудование, или процесс бурения трудно совместим с другими операциями технологического цикла добычи угля на выемочном участке, то скважины следует бурить из специальных дегазационных камер. Если угол наклона скважины мал, существует опасность преждевременного обрушения ее стенок. Скважины с более крутым наклоном характеризуются лучшей устойчивостью, однако количество капируемого метана снижается. При небольшой длине скважин уменьшается объем газовой смеси, отсасываемой одной скважиной. При слишком большой длине скважин возникают затруднения в их бурении и повышаются затраты на дегазацию.

Разряжение в скважине увеличивает дебит извлекаемого метана и уменьшает или полностью исключает его выход непосредственно из сближенного пласта в выработанное пространство.

При существующих технологиях добычи угля и извлечения газа-метана, в горные выработки и дегазационные скважины выделяется только часть объема метана, содержащегося в угольных пластах и газонасыщенных породах в зоне разгрузки. Значительная его доля остается в сорбированном состоянии в частично подработанных или надработанных угольных пластах и пропластках, а также в свободном состоянии в породах, в трещинах и полостях, выработанном пространстве.

Дегазация выработанных пространств обычно производится в комплексе с дегазацией сближенных пластов, когда последняя самостоятельно не обеспечивает необходимых безопасных условий работы участков. Дегазацию выработанных пространств выполняют в случае, если сближенные пласты с большой

газоносностью попадают в зону беспорядочного обрушения. Для дегазации выработанного пространства бурят скважины в зоне обрушения пород, а также используют изолированный отвод метана с помощью газоотсасывающих установок из выработанных пространств за счет общешахтной депрессии.

В работе [8] на основе экспериментальных и расчетных данных показано, что размеры полостей значительные, а объемы скапливающегося в них газа обеспечивают длительную (от нескольких месяцев до двух лет) и высокопроизводительную ($5 - 11 \text{ м}^3/\text{мин}$) работу скважин. При этом уменьшается количество скважин и, следовательно, объем буровых и подготовительных работ, но при условии, что одна или несколько выработок поддерживаются и охраняются в выработанном пространстве.

Анализ результатов научных исследований и опыт работ на шахтах показывают [12], что мероприятия по снижению газовыделения в горные выработки должны осуществляться с использованием технологий комплексной дегазации, в состав которой могут быть включены и, при необходимости, выполняться в различных сочетаниях, известные способы подземной и поверхностной дегазации. К подземной дегазации относятся предварительная дегазация зон скопления свободного метана, выполняемая из выработок «газового горизонта» и других подземных горных выработок; опережающая дегазация геомеханических зон повышенной газопроницаемости, выполняемая из участковых подготовительных выработок «газового горизонта»; текущая дегазация выработанного пространства добычных участков; постэксплуатационная дегазация пород кровли, выполняемая из участковых подготовительных выработок и из «газового горизонта».

Определенное внимание должно быть обращено на извлечение метана из зон его скопления (коллекторов), образовавшихся в результате геомеханических процессов, происходящих в подработанном (надработанном) очистными работами горном массиве. К таким коллекторам относятся в т.ч. полости расслоения, с учетом динамики их формирования и развития во времени и пространстве.

Оценивая перспективы промышленной добычи шахтного метана применительно к специфическим условиям Украины, в работе [13] рассмотрены основные требования к скважинам, пробуренным как с шахтной поверхности, так и подземным скважинам. Как показали результаты новейших исследований, выполненных в ИГТМ НАН Украины, работы по газодобыче из подземных скважин должны быть упорядочены и объединены в единую технологию, основанную на использовании специального «газового горизонта». При этом, направление бурения скважин и очередность их включения в работу необходимо основывать на знаниях закономерностей геомеханических процессов в углепородном массиве, определяющих механизм сдвижения слоистых горных пород. Последнее обстоятельство имеет большое значение, так как неучет этих процессов зачастую является причиной выхода скважин из строя. Скважины подвергаются деформированию вследствие подвижки слоев пород по напластованию, а образование полостей расслоения может являться причиной их полного разрыва.

Обобщая результаты, приведенные в работах [8 – 10] целесообразность извлечения газа из пустот Вебера и трещин расслоения можно обосновать следующим:

- достигаются значительные дебиты дегазационных скважин;
- расстояние между скважинами увеличивается до 80 – 100 м;
- срок службы скважин составляет от 2 – 3 месяцев до нескольких лет;
- каптируемый газ высокого качества;
- снижается вероятность суффлярных выделений газа;
- предотвращаются пиковые газовыделения на выемочном участке;
- потенциальные объемы метана в полостях-ловушках, формируемых при ведении горных работ и не питающих выработки газом, извлекаются;
- производительность очистных забоев в условиях неизменных параметров вентиляции повышается на 30 – 70 %, а себестоимость угля по шахте (с учетом затрат на дегазационные работы) снижается на 2 – 3 %.

Обобщая результаты выполненных исследований по анализу современного состояния работ в области изучения условий и факторов, которые определяют механизм формирования и динамику развития полостей расслоения горных пород, как потенциальных коллекторов метана, при сдвигении слоистого, разномодульного горного массива в зоне влияния очистных работ, задачей дальнейших работ является исследование основных процессов в системе «массив горных пород – технологические параметры угледобычи» и установление факторов, которые обеспечивают возможность управления процессами формирования полостей расслоения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слесарев В.Д. Вопросы управления кровлей. – М.: ОНТИНКТП, 1935. – 130 с.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
3. Борисов А.А. Основные закономерности механических процессов в литосфере (в шахтных и естественных полостях) // Уголь. – 1989. № 12. – с. 10 – 16.
4. Савенко Л.В., Озеркин И.М. Дегазация спутников угольных пластов. – К.: ГИЗ техн. литературы УССР, 1963. – 130 с.
5. Четвертаков В.В. Исследование возможности использования полостей расслоения для промышленной добычи метана. / Сб. науч. тр. НГА Украины: № 3. Том 3. Прогрессивные технологии подземной разработки месторождений полезных ископаемых. – Днепропетровск, 1998. – С. 51 – 56.
6. Савостьянов А.В., Суслов В.И., Григорьев С.П. Формирование полостей расслоения в горном массиве. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 55. – С. 129 – 135.
7. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 271 с.
8. Четвертаков В.В. О целесообразности использования пустот Вебера и трещин расслоения для извлечения шахтного газа / Сб. науч. тр. НГА Украины: № 7. Том 3. Разработка месторождений полезных ископаемых. Маркшейдерия и геология. Геоинформационные технологии в горном деле и геологии. – Днепропетровск: РИК НГУ Украины, 1999. – с. 36 – 39.
9. Савенко Л.В. О полостях вблизи спутников // Уголь Украины, - 1958. – с. 22 – 26.
10. Савенко Л.В. О дегазации спутников угольных пластов / Дегазация угольных пластов. – М.: Госгортехиздат, 1961. – с. 285 – 291.
11. Савостьянов А.В., Ключков В.Г. Управление состоянием массива горных пород. – К.: УМК ВО, 1992. – 276 с.
12. Бокий Б.В., Гуня Д.П., Лукинов В.В., Клец А.П. Экспериментальные исследования предварительной дегазации пород кровли на шахте им. А.Ф. Засядько. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 55. – С. 11 – 16.

УДК 621.869 – 52:622.235

Канд. техн. наук А.И Чайковский
(ИГТМ НАН Украины)

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ СКЛАДСКОЙ ГРУЗОПЕРЕРАБОТКИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ

Наведені результати досліджень ватажообігу промислових та сумішних видів вибухових речовин на механізованих базисних складах вибухових матеріалів при застосуванні транспортно-сумішно-зарядних машин, які дозволяють підвищити ефективність вибухових робіт.

QUESTIONS OF OPTIMIZATION WAREHOUSE CARGO OF PROCESSING EXPLOSIVE SUBSTANCES BY PREPARATION OF MASS EXPLOSIONS

The results of researches revolution of cargo industrial and mixed of kinds of explosive substances in the mechanized warehouses of explosive materials are given at use transport - amalgamator - charge of machines allowing to raise(increase) efficiency of explosive works.

Проведены исследования по оптимизации процессов складирования и грузопереработки взрывчатых веществ (ВВ) и их компонентов на механизированных базисных складах. С использованием моделирования и линейного программирования разработана дискретная модель системы, позволяющей получить следующие оптимальные параметры:

- вместимость бункеров устройств механизированной загрузки транспортно-смесительно-зарядных машин (ТСЗМ);
- схему расположения и размеры устройств механизированной загрузки ТСЗМ на складе;
- производительность погрузочного оборудования;
- метод управления складскими комплексами механизации взрывных работ.

Системы складирования и грузопереработки взрывчатых веществ на базисных складах горнодобывающих предприятиях можно разделить на три типа.

Первая, самая простая технологическая схема, представляет следующую последовательность операций: хранилище базисного склада – электро- или автопогрузчик, бортовой автомобиль, специально оборудованный для перевозки ВВ, блок в карьере, подготавливаемый к взрыву. Схема применяется на небольших карьерах и при транспортировке ВВ на небольшое расстояние.

Вторая схема обеспечивает подачу промышленных ВВ на установки (стационарные или передвижные) растаривания мешков или контейнеров с последующей загрузкой ВВ в бункеры транспортно-зарядных машин. Она представляет следующую последовательность операций: хранилище, электро- или автопогрузчик, установка растаривания мешков или контейнеров, бункер транспортно-зарядных машин, блок в карьере, подготавливаемый к взрыву. Такая