

УДК 622.083

О.В. Рябцев, к.т.н. (ИГТМ НАН Украины)

ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПЛАСТОВ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫМИ ЛАВАМИ

Наведено умови використання та основні вимоги до способів охорони виїмкових виробок, що являють із себе штучно зведені з різних матеріалів та різними засобами вздовж контуру ви-робок конструкції. Запропоновані вираження для визначення навантаження на несучі елементи охоронних конструкцій у вигляді залізобетонних блоків та дерев'яних кострів.

AREA OF THE RATIONAL USE OF DIFFERENT WAYS OF PROTECTION OF PREPARATORY DRIFTS AT WORKING OFF LAYERS BY HIGH-RATE LONGWALLS

Terms of uses and the basic requirements to the methods of protection of making of cou-lisses, which represent artificially taken from different materials and different facilities along to the contour of making of construction are resulted. The expressions for determination of loading on the bearing elements of protective constructions as reinforced-concrete blocks and wooden cages are offered.

Технология охраны выемочных штреков породными полосами, являющимися элементами комплексной системы мероприятий по охране и поддержанию горных выработок, относится к категории перспективных при применении сплошной или комбинированной системы разработки.

Использование этой технологии позволяет одновременно решать и сопутствующие задачи: оставление в шахте отходов угледобычи исключает (минимизирует) необходимость формирования техногенных ландшафтов на шахт-ной поверхности в виде терриконов, которые являются одним из основных источников мутагенного загрязнения окружающей среды в угледобывающих регионах.

Область рационального использования бутовых полос определяется многими условиями и факторами, к которым, в первую очередь, необходимо отнести следующие: особенности геомеханических процессов в окружающем горном массиве в зависимости от системы разработки; вид подрывки пласта угля при проходке выработок (нижняя, верхняя); факторы и условия (природные, технологические, производственные), определяющие эффективность работы бутовых полос в геотехнологической системе «высоконагруженная лава – напряженный горный массив – выемочный штрек – закладочный массив».

Анализ результатов исследований многих отечественных и зарубежных ученых показывает, что в настоящее время отсутствует способ охраны выемочных штреков, который можно было бы однозначно назвать наилучшим. Существует множество комбинаций способов охраны и выбор наиболее рационального из них необходимо производить во взаимосвязке с конкретными горно-геологическими и горнотехническими условиями.

Для того чтобы в максимальной степени использовать технические и технологические возможности конкретного вида охранной конструкции, ее необходимо рассматривать как активный технологический элемент в системе мероприятий по поддержанию выработки.

Породная полоса, в числе прочих типов охранных конструкций (деревянные костры и накатники, органная крепь, блочные, в том числе железобетонные элементы, литые полосы и т.п.) может рассматриваться как один из наиболее активных технических элементов. Это обусловлено тем, что возведение породных полос вибропневматическим способом, позволяющим технически просто и оперативно варьировать их основными технологическими параметрами (плотность (жесткость) закладочного массива, ширина), обеспечивает возможность эффективного управления геомеханическими процессами в массиве, в окрестности выработки, проводимой в зоне влияния очистных работ в увязке с конкретными геологическими, горнотехническими и производственными факторами на участке работ.

Выполним анализ характера влияния указанных выше условий и факторов на выбор способа охраны и поддержания выемочных штреков, в т.ч. породными полосами.

Система разработки. Выемочный штрек, заложенный до отработки лавы (столбовая система), испытывает влияние горного давления в течение таких характерных периодов: проходка штрека, приводящая к первоначальному обжатию крепи боковыми породами и незначительным деформациям ее основных элементов; отработка лавы, инициирующая резкое увеличение давления на крепь и охранные конструкции, что приводит к их значительным деформациям, а также к активизации пучения пород почвы; стабилизация горного давления за лавой, приводящая к остаточным деформациям крепи, охранных конструкций и значительному уменьшению площади сечения штрека, как за счет оседания кровли, так и из-за пучения пород почвы.

Для выемочного штрека, проводимого общим забоем с лавой (сплошная система), первый и второй периоды совпадают во времени, вследствие чего суммарная конвергенция пород для такого штрека значительно меньше, чем для штрека, который проходят раньше начала очистных работ.

При сплошной системе разработки, участковые выработки могут отличаться схемами их проведения, т.е. положением забоя выработки относительно лавы – с опережением лавы, общим забоем с лавой, с отставанием от лавы.

Опыт работы шахт Донбасса по сплошной системе разработки, а также данные зарубежных исследований [1-3] свидетельствуют о следующем.

Проведение выработок с опережением лавы целесообразно при прочных боковых породах. При таком способе проходки выработок опережающее лаву опорное давление воздействует на ослабленный проведением выработки массив.

При проведении участковой выработки с отставанием от лавы и сохранении с одной стороны нетронутого угольного массива, условия ее поддержания весьма благоприятны. Опережающее опорное давление воспринимается ненарушенным породным массивом. Фаза сильной конвергенции выработки непосредственно на сопряжении с лавой в данном случае отсутствует. Крепь "Геотехническая механика"

устанавливается уже за пределами зоны критического давления. При крепких боковых породах целесообразно возведение жесткой бутовой полосы в приконтурном выработанном пространстве.

В выработках, проводимых с отставанием от лавы и охраняемых податливой бутовой полосой, может быть обеспечено симметричное оседание породных слоев. Давление, действующее на забой лавы, не передается на почву выработки.

В последнее время начал использоваться вариант сплошной системы разработки с тремя выемочными штреками, два из которых проводятся следом за лавой в обрушенных породах и охраняются на протяжении всего периода службы бутовыми полосами [4].

Вид подрывки пласта угля. Варианты использования бутовых полос при нижней и верхней подрывке пласта различаются между собой только условиями работы вибропневмозакладочных комплексов. При верхней подрывке, имеющей наиболее широкое применение, может быть реализована технически простая и эффективная прямоточно – горизонтальная схема пневмотранспортного трубопровода. Такая схема, обеспечивает наиболее низкую энергоемкость пневмотранспортирования закладочного материала в околострековую зону выработанного пространства, максимальные дальность и производительность транспортирования горной массы вибропневмо-транспортной машиной конкретного типоразмера. Это, в конечном счете, предопределяет условия достижения максимальной возможной плотности закладки (до 0,8-0,85). При осуществлении нижней подрывки пласта, для возведения бутовой полосы требуются транспортные трубопроводы сложной конфигурации, имеющие восходящие участки и повороты (до 90°). Эти обстоятельства могут существенно увеличивать энергоемкость процесса закладки для обеспечения высокой плотности бутовых полос, усложнять техническое обслуживание пневмотранспортного оборудования, в т.ч. при монтажно-демонтажных работах. Факторы и условия, определяющие эффективность работы бутовых полос в геотехнологической системе «высоконагруженная лава – напряженный горный массив – выемочный штрек – закладочный массив». Результаты исследований, приведенные в [5], позволяют обосновывать рациональные технологические параметры бутовых полос из кусковых закладочных материалов, возводимых виброп-

невмозакладочными машинами. Эти технологические параметры должны обеспечивать работу применяемых типоразмеров крепи выемочных штреков в пределах их податливости, улучшать условия поддержания штреков в рабочем состоянии в т.ч. позади забоя лавы, повышать безопасность труда горнорабочих при проведении и эксплуатации горных выработок.

Область использования полученных результатов и рекомендаций по диапазонам изменения величин определяющих параметров и показателей следующая:

- относительная плотность бутовой полосы: $0,65 \leq \kappa_y \leq 0,85$;
- предел прочности породы закладочного материала на сжатие: $13 \text{ МПа} \leq \sigma_{сж} \leq 70 \text{ МПа}$;
- величина нагрузки на бутовую полосу со стороны пород подработанной надугольной толщи, как функция геологических, горнотехнических, производственных условий и фактора времени $1 \text{ МПа} \leq P(K) \leq 25 \text{ МПа}$;
- гранулометрический состав закладочного материала $1 \text{ мм} \leq 2a \leq 80 \text{ мм}$;
- скорость подвигания очистного забоя $2 \text{ м/сут} \leq V \leq 13 \text{ м/сут}$;
- максимальная дальность пневмотранспортирования: 100 м ;
- объемный расход сжатого воздуха при диаметре транспортного трубопровода $0,2 \text{ м}$: $1800 \text{ м}^3/\text{ч} \leq Q_{1v} \leq 4500 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- величина отставания бутовой полосы от груди очистного забоя $4 - 5 \text{ м}$;
- вынимаемая мощность угольного пласта: $0,8 \text{ м} \leq m \leq 1,8 \text{ м}$.

На сегодняшний день на шахтах угледобывающей отрасли Украины наибольшее распространение получили столбовая, сплошная и комбинированная системы разработки. Наибольшая доля (более 60 %) приходится на столбовую систему разработки, которая имеет ряд существенных преимуществ перед остальными. Основным преимуществом является возможность обеспечения высоких темпов добычи угля, поскольку добычные работы не связаны во времени с подготовительными. Так же при столбовой системе достигаются самые высокие скорости при проходке подготовительных выработок комбайновым способом (до 300 м/мес), что делает подготовку выемочного столба к отработке достаточно быстрой.

Однако, в силу ряда факторов технического и экономического характера сегодня все большая доля при отработке пологих угольных пластов приходится на

сплошную систему. Основным достоинством сплошной системы разработки является то, что добыча угля начинается сразу без предварительной проходки подготовительных выработок, т.е. проходческие и добычные работы динамически совмещаются во времени. Но этот же фактор является и основным недостатком, т.к. поддержание баланса между добычными и подготовительными работами во времени, является технически очень непростой задачей. Вторым недостатком является то, что выемочные штреки необходимо поддерживать в рабочем состоянии на весь период отработки выемочного столба, что требует проведения дополнительных технологических мероприятий.

В некоторых случаях при столбовой системе разработки возникает необходимость поддерживать штреки позади забоя лавы (при использовании прямой системы проветривания, повторном использовании штреков).

Эффективным способом поддержания штреков, как при столбовой, так и при сплошной системе является возведение породных полос при помощи вибропневмо-закладочной техники нового технического уровня.

Важным вопросом использования этой техники является выбор рациональной схемы размещения основного технологического оборудования в выработке. Эта схема определяется геологическими, горнотехническими и др. условиями ведения горных работ. В общем случае она является индивидуальной для конкретного добычного участка и взаимоувязывается с используемым горно-шахтным оборудованием.

При разработке технологических схем должны выполняться следующие "Геотехническая механика" требования.

Схема компоновки оборудования должна: обеспечивать возможность достижения максимальной плотности закладки бутовой полосы; обеспечивать поточность всего технологического цикла закладки; минимальные энергозатраты и минимальные трудозатраты на выполнение монтажно-демонтажных работ; быть максимально унифицирована с основным проходческим оборудованием, имеющимся в наличии на шахте; включать минимальный объем использования дополнительной технологической оснастки и не сдерживать темпы ведения добычных работ.

Применительно к условиям эксплуатации вибропневмозакладочного комплекса с эжекторной машиной типа ВПМ-200 рассмотрим технологические схемы компоновки оборудования при комбайновом способе проведения выемочных штреков при сплошной и столбовой системах разработки.

В случае, когда используется схема «лава-штрек» при сплошной системе разработки для доставки породы в бутовую полосу требуется транспортный трубопровод сложной конфигурации с восходящими участками.

Общим признаком технологических схем является использование серийного оборудования, имеющегося в наличии на шахтах отрасли, а так же дробилки с приводом и передвижного распределительного пункта, например, от комплекса «Титан».

Технологические схемы отличаются типоразмерами некоторых единиц оборудования и конструктивным исполнением технологической оснастки.

Порода для возведения бутовой полосы берется из проходки или подрывки пород почвы на 0,8-1,2 м и впереди очистного забоя на 20-30 м, в зоне интенсивного пучения. Проходка производится проходческим комбайном, подрывка производится поддирочнопогрузочной машиной.

Следует также отметить, что технологические схемы компоновки и размещения вибропневмозакладочного оборудования являются типовыми и могут быть достаточно легко адаптированы для других горно-технических условий ведения горных работ при различных системах разработки пологих угольных пластов.

Выполненный технико-экономический анализ использования бутовых полос, которые возводятся вибропневмозакладочными машинами с обоснованными рациональными технологическими параметрами и при использовании рассмотренных выше типовых технологических схем показал, что за счет увеличения срока безремонтного поддержания выемочных штреков и существенного снижения затрат на их ремонт и укрепление (до 70 %) ожидаемый годовой экономический эффект составит от 194880 до 438900 грн. в зависимости от условий ведения горных работ [5].

К альтернативным способам относятся как традиционные, широко используемые на шахтах угледобывающей отрасли (деревянные и металлические костры,

железобетонные плиты, пневмобаллоны), так и новые прогрессивные способы (литые полосы из твердеющих материалов).

Рассмотрим традиционные способы охраны и поддержания выемочных штреков.

Для определения рациональной области их использования в условиях конкретного добычного участка необходимо знать несущую способность конструкции при заданной прочности вмещающих пород и нагрузку на нее со стороны пород надугольной толщи, которые подработаны очистной выработкой и свободно опускаются над штреком. Для расчета нагрузок на несущие элементы охранных сооружений может быть использована методика и установленные закономерности влияния технологических параметров ведения горных работ, приведенные в [5]. Зная величину действующих нагрузок, можно определить требуемые параметры охраны штрека – количество охранных конструкций на 1 погонный метр (п.м.).

Для поддержания подготовительных выработок, обслуживающих выемочный участок, как правило, применяется податливая крепь из специального профиля типа СВП с криволинейной формой поперечного сечения выработки (арочная, с обратным сводом). Податливость крепи (Π) обеспечивается за счет проскальзывания звеньев относительно друг друга. Несущая способность этих крепей находится в пределах 0,15-0,45 МПа. Податливость арочных крепей из спецпрофиля при условии, когда равнодействующая нагрузка со стороны пород кровли совпадает с направлением реализации податливости находится в пределах 0,3-0,6 м. При негоризонтальном залегании и расположении выработки по простиранию (Π) зависит от угла залегания пород и обратно пропорциональна последнему. С достаточной для инженерных целей точностью изменение податливости от угла залегания можно описать выражением

$$\Pi = \Pi \left(1 - \frac{\alpha}{90} \right).$$

При опускании пород на контуре выработки, превышающих податливость крепи, она, как правило, деформируется и теряет несущую способность. Поэтому к

основным технологическим параметрам в данном случае следует отнести податливость крепи и ее несущую способность.

Как известно, несущая способность практически всех охранных сооружений принимается с учетом их податливости, которая реализуется различными способами. При использовании деревянных костров это происходит за счет смятия древесины перпендикулярно волокнам и максимальная несущая способность имеет место при уменьшении первоначальной высоты костра примерно в 2 раза. В этом случае максимальная нагрузка на костер может достигать 0,5-0,75 МПа. Жесткие крепи, к которым относятся металлические костры, железобетонные (ж/б) плиты, органка, кусты имеют податливость за счет разрушения пород кровли или почвы, или деревянных прокладок.

В работе [6] показано, что если задаться величиной опускания пород кровли штрека, при которой его можно сохранить без перекрепления возможно использовать инженерный экспресс-метод определения нагрузок на несущие элементы охранных сооружений на основе простых эмпирических соотношений. Сущность его заключается в следующем. Принимается, что при увеличении податливости (увеличении опусканий пород) нагрузка на крепь возрастает по линейному закону до максимальной несущей способности. Дальнейшее увеличение опусканий приводит к погружению несущих элементов крепи в породы кровли или почвы. Задаваясь податливостью арочных крепей типа АП, получим зависимости для определения нагрузки на несущие элементы при заданных опусканиях:

- для ж/б плит

$$P_n = \frac{y_{зад} P_{max}}{150m(0,06v + 0,7)}, \quad 0 < y_{зад} < 150m(0,06v + 0,7),$$

- для пневмобаллонов

$$P_n = \frac{y_{зад} P_{max}}{250m(0,06v + 0,7)}, \quad 0 < y_{зад} < 250m(0,06v + 0,7),$$

где $y_{зад}$ – заданные опускания пород кровли, мм; P_{max} – максимальная несущая способность конструкции, МПа; v – среднесуточная скорость подвигания очистного забоя, м/сут; m – вынимаемая мощность пласта, м.

Максимальная несущая способность жестких конструкций должна определяться предельным сопротивлением пород на вдавливание $R_{вдв}$, которую для инженерных расчетов можно принимать (0,2 - 0,5) $R_{сж}$ и с учетом этого получим

$$P_{max} = \frac{P_k}{S},$$

где P_k – максимальная разрушающая нагрузка на несущую конструкцию, МПа; S – площадь контакта несущей конструкции с породами кровли или почвы, м².

В случае $P_{max} R_{вдв}$ и дальнейших опусканиях пород кровли, превышающих заданные, происходит погружение элементов охранных сооружений в породы кровли или почвы.

Податливые конструкции (деревянные костры) вначале, после их установки, имеют малую скорость нагружения и по мере их усадки сопротивление увеличивается. Для этих конструкций закономерность изменения нагрузки на них с увеличением опусканий пород можно с определенным для инженерных целей приближением описать в виде соотношений для двух прямых:

$$P_n = \frac{0,2 y_{зад} P_{max}}{150m (0,06v + 0,7)},$$

$$0 < y_{зад} < 150m (0,06v + 0,7).$$

$$P_n = \frac{0,8 y_{зад} P_{max}}{400m (0,06v + 0,7)},$$

$$150m (0,06v + 0,7) < 0 < 400m (0,06v + 0,7).$$

Максимальная несущая способность деревянного костра при исчерпании податливости находится в пределах 0,5-0,75 МПа.

При известной величине равнодействующей нагрузки со стороны вмещающих пород можно определить параметры несущей конструкции, задаваясь площадью и законом распределения нагрузки на эту конструкцию.

Максимально возможная нагрузка на ж/б плиты $R_{кж/б}$ не превышает 4,0 МПа. При известной равнодействующей нагрузке со стороны вмещающих пород определим количество ж/б плит на 1 п.м.:

$$N_{ж/б} = \frac{R}{P_{кж/б}}$$

С учетом прочности вмещающих пород на вдавливание $R_{вдв}$, количество ж/б плит на 1 п.м равно:

$$N_{ж/б} = \frac{R}{R_{вдв}S}$$

где S – площадь контакта плиты с вмещающими породами, м².

Несущую способность металлических костров или органной крепи определим из выражения

$$R_k = 2abR_{вдв}$$

где a и b – геометрические размеры элементов крепи.

Таким образом, проведение данного расчета позволит обосновать и выбрать рациональный вид охранных сооружений для поддержания участков выработок в безремонтном состоянии на период их эксплуатации в зависимости от горно-технических условий и назначения выработки.

Применяемые для охраны подготовительных выработок искусственные ограждения (костры, органная крепь и т.д.) не препятствуют большим смещениям кровли из-за высокой податливости или малой несущей способности, а их возведение требует больших затрат ручного труда.

Специалистами ИГТМ НАН Украины и Минтопэнерго Украины разработана технология охраны подготовительных выработок литыми полосами из твердеющих материалов [7].

Способ охраны выемочных штреков литыми жесткими полосами рассматривается как один из прогрессивных, обеспечивающих снижение затрат на поддержание выработок, их повторное использование в условиях интенсивной отработки пластов высокопроизводительными лавами, механизацию возведения и улучшение вентиляции выемочных участков.

Этот способ охраны выемочных выработок является вариантом способа охраны выработок искусственными ограждениями и предназначен для сохранения выработок в рабочем состоянии с целью повторного использования при отработке соседнего выемочного столба. Он обеспечивает возможность прямого проветривания лав, позволяет повысить нагрузку на очистной забой.

Способ охраны выемочных выработок литыми полосами может применяться при повторном использовании выработок в следующих условиях: мощность угольного пласта – 1,2-2,2 м; угол падения пласта – до 30°; глубина разработки – до 1200 м; обрушаемость пород кровли – любая.

Применение способа охраны не рекомендуется при наличии пучения вмещающих пород, т.е. при $\gamma H / \sigma_{сж} > 0,5$ (H – глубина заложения выработки от поверхности; $\sigma_{сж}$ – средневзвешенная прочность пород почвы мощностью, равной ширине выработки).

В заключение отметим, что выбор рационального способа охраны и поддержания подготовительных выработок, технических и технологических параметров охранных конструкций и сооружений для конкретного добычного участка должен производиться только с учетом реальных геологических, горнотехнических и производственных условий ведения горных работ на этом участке на основе установленных закономерностей влияния этих условий и фактора времени на показатели и параметры напряженно-деформированного состояния пород надугольной толщи, подработанной очистными работами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перепелица В.Г. Научные основы создания нетрадиционного способа охлаждения воздуха и закладки выработанного пространства глубоких шахт: Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.11, 05.15.02 – Днепропетровск, 1999. – 314 с.

2. Усаченко Б.М. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизо-ванных породах. / Б.М. Усаченко, В.П. Чередниченко, И.Е. Головчанский. - К.: Наук. думка, 1990. - 144 с.

3. Якоби О.Г. Практика управления горным давлением. - М.: Недра, 1987. - 556 с.

4. Морозов И.Т. Охрана выемочных штреков в выработанном пространстве при сплошной системе разработки в условиях Красноармейского района Донбасса: Автореф. Дис. ... канд. техн. наук: 0515.02 – Днепропетровск, 1998. – 16 с.

5. Рябцев О.В. Обоснование технологических параметров околоштрековых буровых полос, возводимых вибропневмотранспортными машинами: Дис.... канд. техн. наук: 05.15.11 – Днепропетровск, 2005. – 172 с.

6. Савостьянов А.В. Обоснование способа охраны выработки с целью повторного использования. / А.В. Савостьянов, А.И. Волошин, О.В. Рябцев // Науковий вісник НГУ. - 2003. - № 6. - С. 32 - 36.

7. Булат А.Ф. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов / А.Ф. Булат, М.А. Ильяшов, Б.М. Усаченко, Л.В. Байсаров. – Днепропетровск: РИА «Днепр – VAL», 2004. – 33 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н О.І. Волошином 23.07.09