© В.М. Бучатский, А.А. Табалов, С.Н. Вельбовец, В.Н. Соколов, Л.М. Гусельников, А.А. Подосенов, 2006

УДК 622.272

В.М. Бучатский, А.А. Табалов, С.Н. Вельбовец, В.Н. Соколов, Л.М. Гусельников, А.А. Подосенов

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК НА УДАРООПАСНЫХ ПЛАСТАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНКЕРНОЙ И РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ НА ШАХТАХ ОАО «ВОРКУТАУГОЛЬ»

Семинар № 15

Проблема крепления и охраны подземных выработок для шахт ОАО «Воркутауголь» остается первостепенной, от успешного решения которой зависят объемы добычи угля и рентабельность работы угольного предприятия.

В качестве основного направления совершенствования способов крепления и поддержания выработок на шахтах ОАО «Воркутауголь» принято повсеместное внедрение сталеполимерной анкерной крепи.

Шахтами ОАО «Воркутауголь» отрабатывается Воркутское месторождение, характеризующееся сложными геодинамическими условиями, при которых нормативными документами {1, 2] предусматривается ограничение области применение анкерной крепи. Наличие тектонически напряженных зон на месторождении обусловливает высокие естественные напряжения, реализующиеся при воздействии на них техногенных напряжений в газодинамические явления.

Исследованиями напряженного состояния нетронутого горными работами массива установлено, что практически по всем участкам месторождения проявляются сжимающие горизонтальные напряжения в субширотном и меридиональном направлениях. Причем на отдельных участках максимальные горизонтальные напря-жения достигают 1,2–1,8 γH.

Основные отрабатываемые пласты: Мощный, Тройной, Четвертый, Пятый склонны к газодинамическим проявлениям горного давления. Пласты Мощный, Тройной являются опасными по внезапным выбросам угля и газа и горным ударам, пласт Четвертый, залегающий ниже пласта Тройного, относится к угрожаемым, а на отдельных участках к опасным по горным ударам. Средняя глубина ведения горных работ на шахтах Воркутского месторождения 730-1040 м. Для месторождения характерно расщепление угольных пластов на самостоятельные пласты меньшей мощности. Пласт Мощный мощностью до 4,5 м расщепляется на Тройной и Четвертый мощностью, соответственно, 2,0-2,9 и 1,2-1,5 м. Средняя мощность междупластий Тройной-Четвертый 15-20 м; Четвертый–Пятый 30-40 м; Мощный –Пятый -25-35 м.

Основным мероприятием по предотвращению газодинамических явле-

ний является первоочередная отработка защитных пластов Четвертого и Пятого. Вмещающие угольные пласты породы представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками. Прочность одинаковых литологических разностей изменяется в больших пределах. Сопротивление одноосному сжатию для аргиллитов составляет 20 – 65, алевролитов 31–92 и песчаников 54–140 МПа. На подработанных участках изменяется структурное строение пород, увеличивается расслаиваемость и снижается прочность в массиве и, соответственно, в образцах керна на 20–30 %.

В рассматриваемых условиях область применения анкерной крепи на удароопасных и подработанных пластах ограничивается следующими нормативными критериями [1, 2]:

- нормативный критерий области применения анкерной крепи на подработанных пластах при различной величинах междупластья (М) и технологической мощности подрабатывающего пласта ($m_т$) - $M/m_т \geq 12$;
- при расположении выработок на подработанных пластах с анкерной крепью отношение глубины от поверхности (Н, м) к расчетному сопротивлению пород в кровле (R_c, МПа) - $H/R_c \leq 25$, п. 2.1. [1];
- применение податливой анкерной крепи ограничивается сроком службы выработки на удароопасных пластах до 2 лет, п.7.4. [2].

Геодинамическая характеристика месторождения определяет выбор технологических схем развития и ведения работ, порядок обеспечения их безопасности и, соответственно, решения вопросов управления состоянием горного массива при использовании в выработках анкерной крепи. На шахтах ОАО «Воркутауголь» применяются: бесцеликовая схема с поддержанием выработки на границе с отработанным пространством и схема подготовки выемочных столбов парными выработками, охраняемых податливыми целиками.

Поэтому для разработки и уточнения параметров и критериев рациональной области применения сталеполимерной анкерной и рамно-анкерной крепи были выполнены горно-экспериментальные исследования по оценке работоспособности анкерной крепи при поддержании выработок на границе с отработанным пространством, при парной подготовке, и при проведении и поддержании выработок в зоне опорного давления.

Исследования включали выполнение инструментальных наблюдений в выработках и целиках при проведении промышленных испытаний в 2002-2004 гг. в 23 выработках с общей протяженностью 22,5 км. Кроме этого в 2005 г. при выполнении опытно-внедренческих Ра-бот по расширению области эффективного применения сталеполимерной анкерной крепи исследования и инструментальные наблюдения проведены в пройденных и поддерживаемых выработках общей протяженностью 3,95 км.

Горно-геологические и горнотехнические условия промышленных испытаний и опытно-внедренческих работ сталеполимерного анкерного крепления на глубине 815-1112 м характеризуются следующими значениями нормативных критериев области применения. Прочность пород кровли на подрабатывающих пластах Четвертом, Пятом R_c = 57-79 МПа, на подработанных пластах по Тройному R_c = 22,7-37,6 МПа, по Мощному-37,4 МПа, соответственно, величина величина H/R_c составила на подрабатывающих пла-

стах 10,5-16 и для выработок на подработанных пластах H/R_c изменялась от 26,9 до 39,4; при $M/m_т \geq 10$.

Ведением наблюдений за устойчивостью выработок, закрепленных сталеполимерными анкерами от момента их проведения до погашения установлено:

- смещения кровли на расстоянии от забоя 30-40 м или в течение 40-60 суток стабилизируются в зависимости от прочности пород от 10-20 до 40 мм;
- согласно замерам в выработках, расположенных вне зон опорного давления в различных горно-геологических условиях, при конвергенции почвы-кровли, достигающей 150-250 мм, смещения кровли не превышают 35-50 мм; смещения боков выработок по пласту Пятому, Четвертому за счет отслоения пород (песчаники, алевролиты) составили 70-150 мм; сдвижения боков - угольных пачек по пластам Тройному и Мощному достигают 20-180 мм, и при совмещении проекций выработок на участке створа- до 0,5-1,2 м;
- впереди очистного забоя в 15-25 м приросты смещений кровли в погашаемой выработке составляют 15-20 мм, на сопряжении с очистным забоем общие смещения не превышали 60-70 мм; при сохранении устойчивого состояния максимальные смещения кровли в парной выработке после прохода забоя без использования крепи усиления достигают 300-350 мм, пучение почвы по пласту Тройному 1800 мм, по Четвертому до 800 мм.

Согласно выполненным инструментальным наблюдениям выработки, закрепленные сталеполимерной анкерной крепью и поддерживаемые более 2-х лет вне зон опорного давления и ПГД на удароопасных и подработанных пластах, сохраняют устойчивость течение 28-36 мес. без признаков проявлений удароопасности. Смещения кровли не превышают 30-45 мм. В зонах влияния ПГД, где через 6-10 месяцев от момента проведения выработки смещения кровли достигают 70-90 мм, производится выборочное усиление крепи. На участках установки крепи усиления смещения стабилизируются и не превышают указанных величин.

Установлено, что при поддержании выработок на границе с отра-ботанным пространством, закрепленных анкерной крепью мгновенные смещения кровли в выработке уменьшаются по сравнению с участками закрепленными рамной крепью. Это объясняется тем, что созданная при использовании сталеполимерной анкерной крепи единая несущая конструкция «анкера – породы кровли» сохраняет податливость при одновременном гашении упругих импульсов динамических смещений прилегающего к выработке горного массива. При усилении анкерной крепи жесткой крепью с ограниченной податливостью, анкера при смещении вышележащих слоев выдавливаются относительно контура выработки на 50-160 мм, то есть, на величину отслоения заанкерованного слоя от вышележащего. В этом случае анкера практически теряют свою работоспособность и исключается целесообразность их применения в качестве основной крепи при поддержании выработок на границе с отработанным пространством.

Инструментальные наблюдения за смещением кровли и сдвижению породоугольного массива, выполненные при проведении промиспытаний в выработках, закрепленных сталеполимерной крепью, позволили определить высоту зоны расслоения пород кровли, параметры устойчивости парных вы-

работок вне зоны и в зонах влияния очистных работ при различных величинах межштрековых податливых целиков.

Выражение (1) предназначено для оценки устойчивости кровли и расчета основных параметров анкерной крепи по прогнозной оценке высоты зоны разрушения пород над выработкой в зависимости от напряженно-деформированного состояния горного массива:

$$h = \frac{1,5B\sqrt[3]{m}}{\sigma_{\text{р}}} e^{\frac{0,1K\gamma H}{\sigma_{-c}}}, \text{ м} \qquad (1)$$

где h - высота расслоения пород над выработкой, м; B - ширина выработки, м; m - мощность пласта, м; $\sigma_{\text{р}}$ - прочность пород на разрыв, МПа; e -основание натуральных логарифмов; -объемный вес пород, равный 0,025 МПа/м; H - глубина ведения работ, м; $\sigma_{\text{сж}}$- прочность пород на сжатие, МПа; K - коэффициент концентрации напряжений в массиве до проведения выработки.

Высота расслоения пород в момент проведения выработок на глубине 800-1140 м вне зоны опорного давления и аномальных естественных напряжений, при прочности пород на сжатие 30-40 МПа и при ширине выработки 4,5-5 м для пластов Пятого, Четвертого, Тройного, составляла, соответственно, 2,4-1,8; 2,6-2,0; 3,0-2,4 м. В этих условиях применяемая длина анкеров 2,2 м при прочности пород кровли на сжатие менее 40 МПа обеспечивает устойчивое состояние кровли за счет увеличения на 20-30 % плотности установки анкеров.

В зоне опорного давления высота расслоения пород увеличивается вследствие сдвижения пород при перераспределении напряжений в массиве, деформации податливых целиков и разрушения краевых частей на 12-25 % и достигает (0,5-0,7) B,(B-ширина выработки, м). Поэтому эффективность использования анкерной крепи с высотой анкерования 2,1 м в выработках шириной свыше 4,5 м значительно снижается ввиду необходимости установки крепи усиления. При большей ширине выработки и меньшей прочности пород следует рассматривать вопрос о переходе на двухуровневое анкерное крепление, установку в центре выработки податливых стоек или переходить на рамно-анкерную крепь.

Установлено, что с увеличением пролета выработки с 5 до 9 м возникают пригрузки на крепь вдоль выработки за счет уменьшения блочности пород кровли и увеличения высоты расслоения на 30-35 % ,что вызывает необходимость уменьшать расстояние между подхватами в зоне влияния опорного давления в 1,2-1,4 раза.

Для разработки и уточнения параметров и критериев рациональной области применения сталеполимерной анкерной и рамно-анкерной крепи проводились инструментальные наблюдения за устойчивостью выработок, закрепленных анкерной и рамно-анкерной крепью в различных горно-геологических условиях, проведенных или поддерживаемых в зонах влияния опорного давления. Преимущественно в парных выработках и монтажных камерах по пластам: Тройному, Четвертому и Пятому. Установлено, что в зонах влияния опорного давления исполь-зование рамно-анкерной крепи уменьшает в 1,5-2 раза высоту расслоения пород над выработкой по сравнению с рамной и способствует повышению устойчивости выработки и предотвращает обрушения кровли особенно при проведении монтажных камер.

Для выбора параметров анкерной и рамно-анкерной крепи получена количественная зависимость (2) высоты расслоения пород над выработкой при рамно-анкерной крепи в зависимости от длины и плотности крепи усиления из сталеполимерных анкеров, ширины выработки и мощности пласта:

$$h = \frac{1,8B\sqrt[3]{M}}{\sigma\sqrt{\ln}}, \text{ м}, \qquad (2)$$

где B - ширина выработки, м; M - мощность пласта, м; l - длина анкера, м; n – количество анкеров на пролет, штук.

Область применения рамной или рамно-анкерной определяется технологической длиной анкера, высотой расслоения кровли, разность между которыми компенсируется крепью усиления. Технологически целесообразная длина анкера по условиям оптимального использования бурового оборудования, схватывания клеющего состава в ампулах с анкером и вмещающими породами в основных угледобывающих странах принята 2,1-2.4 м, реже 1,4-2,3 м.

В условиях шахт ОАО «Воркутауголь» применяется анкера А20В длиной 2,2 м, при глубине анкерования 2,1 м, обеспечивающих несущую способность по результатам проверки от 160-190 кН.

Боковые анкера на удароопасных и подработанных пластах шахт ОАО «Воркутауголь» с учетом преимущественного проявления горизонтальных напряжений по сравнению с вертикальными должны возводиться у забоя одновременно с анкерами кровли с отставанием от забоя не более 1 м. Параметры их заложения (длина анкеров, угол) определяется величиной дезинтеграции массива, прилегающего к выработки. Разрушение угля и пород в боках выработки определяются высоким значением коэффициента концентрации напряжений на удароопасных пластах. Так согласно замерам коэффициент концентрации напряжений в пределах защитной зоны при отсутствии признаков удароопасности при проведении выработок для пласта Четвертого составил 1,6-2,3 γH, для пласта Мощного 1,9-2,8 γH вне влияния зон опорного давления и подработки, то есть в 1,5-1,9 больше, чем в «Инструкции…» [1].

Выполненный аналитический анализ условий проведения и поддержания выработок, проведенных и эксплуатируемых на удароопасных и подработанных пластах шахт ОАО «Воркутауголь», и результатов инструментальных наблюдений, полученных при промышленных испытаниях способа сталеполимерного крепления позволили ВНИМИ установить величины параметров для критериев области применения анкерной крепи, которые согласованы с органами горного надзора РФ и рекомендованы для внесения изменений в п.7.4 [2] и п.2.1 [1]:

- на пластах, склонных к горным ударам, применение анкерной крепи допускается в выработках сроком службы более двух лет при отсутствии в краевых частях пласта и целиках категории «опасно»;

- при выявлении прогнозом категории «опасно» и приведения в неудароопасное состояние эти участки выработки перекрепляют на податливую металлическую крепь или устанавливают крепь усиления;

- применение анкерной крепи на удароопасных подработанных и надработанных участках угольных пластов допускается:

при соотношении глубины расположения от поверхности ($H_м$) к рас-

четному сопротивлению пород кровли $H_м / R_c \leq 35$;

при соотношении междупластья (М) к технологической мощности подрабатывающего пласта ($m_т$) $M / m_т \geq 10$.

При проведении промышленных испытаний технологических схем подготовки выемочных столбов парными выработками, закрепленными сталеполимерной анкерной крепью с податливыми межштрековыми целиками был сформулированы ряд требований и методических положений по выбору параметров податливых целиков на пластах опасных по горным ударам.

- При парной подготовке используются только податливые межштрековые целики, исключающие возможность создания в них высоких напряжений и возникновения горных ударов. Формирование податливых целиков, как и проведение парных выработок с анкерным креплением, должно производиться вне зоны опорного давления.

- Формировании податливых целиков на удароопасных пластах при проведении второй парной выработки в зоне опорного давления впереди очистного забоя или после прохода лавы сопровождается проявлениями удароопасности в целике, в забоя и краевой части проводимой выработки, что вызывает необходимость выполнения профилактических мероприятий и перехода с анкерной на рамную крепь.

- Межштрековый целик при парной подготовке должен обеспечивать устойчивое состояние поддерживаемых выработок, сохранять достаточную несущую способность при податливой деформации, исключающей создание в нем удароопасного состояния в зоне опорного давления впереди и после прохода очистного забоя.

- Выбору и расчету целиков должна предшествовать оценка геомеханической характеристики состояния массива. Основными показателями геомеханической характеристики являются: суммарная величина естественных и техногенных напряжений, параметры перерапре-деления напряжений при проведении выработки или выработок при парной подготовке и по мере отработки выемочного столба.

- С учетом перечисленных требований получены и апробированы предельные значения ширины межштрековых целиков на глубине ведения работ 930-1000 м при последовательном проведении парных выработок вне зоны опорного давления. Ширина податливых целиков составляет для пласта Четвертого - 6,9 м; для пласта Тройного - 10,3 м; для пласта Мощного - 12,3 м и для пласта Пятого - 5,7 м.

Установлена необходимость совершенствования расчетных схем параметров, критериев области применения анкерной крепи, приведенных в нормативных документах. На достигнутых глубинах шахтами ОАО «Воркутауголь» 730-1040 м необходимая плотность возведения анкерной крепи в кровле возрастает на 20-30 %, а в боках на 50-60 %, при этом максимальное расстояние между рядами анкеров не должно превышать 1,0 м. При неустойчивых слоях непосредственной кровли величину податливых целиков необходимо увеличивать на 0,6 m,(m-мощность пласта). Результаты исследований учтены в дополнениях к нормативным документам.

Проведенные исследования геомеханических процессов в массиве и устойчивости выработок, закрепленных сталеполимерной анкерной крепью, в условиях парной подготовки и промышленные испытания сталеполимер-

ной анкерной крепи при проведении выработок по удароопасным пластам в различных горно-геологических условиях шахт ОАО "Воркутауголь" показали, что применение анкерной крепи при проходке способствует созданию безопасных условий, обеспечивает снижение трудоемкости работ и более высокие скорости подвигания, превышающие достигнутые с рамной крепью в 1,5-2,5 раза. На шахтах ОАО «Воркутауголь в настоящее время до 35-40 % подготовительных выработок крепится сталеполимерной анкерной крепью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция* по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России - СПб., 2000. 70 с. (М-во топлива и энергетики РФ. Гос.науч.-исслед. институт горн. геомех. и маркшейд. дела - Межотраслевой науч. центр ВНИМИ).

2. *Предупреждение* газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов - М.; Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России ,2000.- 320 с.

Коротко об авторах

Бучатский Владимир Марьянович – кандидат технических наук, технический директор,
Табалов Анатолий Андреевич – кандидат технических наук, заместитель технического директора по ТБ,
Вельбовец Сергей Николаевич – инженер, главный технолог по анкерному креплению,
Соколов Владислав Николаевич – инженер, главный технолог по горному давлению,
Гусельников Лев Митрофанович – инженер, заведующий лабораторией геомеханики,
Подосенов Александр Александрович – инженер, старший научный сотрудник,

ОАО «Воркутауголь».