

УДК 662

В.Г. Климов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОТРАБОТКИ ОГРАНИЧЕННЫХ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СО СЛОЖНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМОЙ

В угольной промышленности развитых стран камерно-столбовой система применяется главным образом для отработки запасов угля, где использование очистных механизированных комплексов малоэффективно из-за сложной конфигурации выемочных полей, наличия нарушенности, незначительности отрабатываемых запасов. Преимущественное распространение эта система получила при отработке угольных пластов на шахтах США, Австралии и ЮАР, где на долю этой системы приходится соответственно до 44, 53 и 58% от всей подземной добычи угля. Опыт применения камерно-столбовой системы на шахтах России незначителен.

Система характеризуется низкими, сравнительно с длинными лавами, капитальными затратами, простой организацией работ, повышенной адаптируемостью к различным горногеологическим условиям и легкостью совмещение с другими системами. Это обусловило большое количество вариантов технологических схем с камерно-столбовой системой.

Распространение получили три варианта схем:

- лавная схема подготовки и отработки участка;
- блочная схема, когда подготовленный к отработке участок разделяется на отдельные блоки, отрабатываемые независимо и последовательно;
- столбчатая схема, где отрабатываемый участок разделяется на столбы, разрабатываемые частично или полностью.

Оценка запасов угля, не пригодных к отработке длинными столбами с механизированными очистными комплексами, по принятым критериям эффективного применения ка-

мерно-столбовой системы показала, что 25,7 млн.т. подготовленных запасов угольных пластов шахт Ленинского рудника могут быть отработаны камерно-столбовой системой с выемкой угля высокопроизводительными проходческими комбайнами.

Основные положения и выводы ранее проведенных исследований требуют уточнения и корректировки применительно к условиям пластов шахт Ленинского рудника.

Исходя из изложенного, сформированы цель и задачи исследований.

При выборе параметров экспериментальной технологической схемы использовались результаты анализа и обобщения наиболее известных методов расчета ширины камер, междукамерных и подзavalьных целиков.

Основными элементами технологической схемы, с помощью которых осуществляется их оконтуривание, являются выемочный участок, камера, междукамерный целик, заходка, подзavalьный целик, подготавливающие выработки и целики специального назначения.

Расчетами установлено, что безопасная и эффективная отработка пласта Полясаевский I на шахте им. 7 Ноября, который был выбран в качестве экспериментального, обеспечивается при соблюдении следующих технологических параметров: ширина выемочных камер и выемочных печей не более 7,0-7,5м, ширина подзavalьных целиков не менее 2,1м, ширина и длина заходок не должна превышать 4,30 и 75 м, ширина междукамерных целиков 8 м.

Пласт Полясаевский I мощностью 2,56 м. Непосредственно

над пластом залегает ложная кровля мощностью 0,3 м, сложенная алевролитом крепостью 2-3. Непосредственная кровля представлена алевролитом мелкозернистым мощностью 12м, крепостью 3-4, средней устойчивости, основная – песчаником мелкозернистым мощностью 15м, крепостью 4-6, почва – алевролитом мелкозернистым мощностью 5м, крепостью 4.

При исследованиях для оценки устойчивости кровли выработок использовался метод контурных и глубинных реперов, напряженного состояния целиков – метод фотоупругих датчиков. Напряженное состояние вмещающих пород определялось электромагнитным излучением.

Для регистрации электромагнитного излучения использовался прибор РЭМИ-2. В процессе исследования оператор с прибором периодически перемещался вдоль отрабатываемой камеры № 12, а также вдоль предыдущих отработанных камер № 11 и № 10 в направлении поперек камер в проходах между подзavalьными целиками угля. Во всех случаях интенсивность электромагнитного излучения регистрировалась на уровне 10-12 импульсов в секунду. Схему расположения замерных станций см. на рис. 1.

Установлено, что геомеханические процессы наиболее активно проявляются при подготовке междукамерных целиков к выемке и в периоды отработки междукамерных целиков. Существенное влияние на параметры горного давления оказывают геометрические размеры камер и междукамерных целиков. С увеличением площади поперечного сечения камер и их длины смещение пород кровли

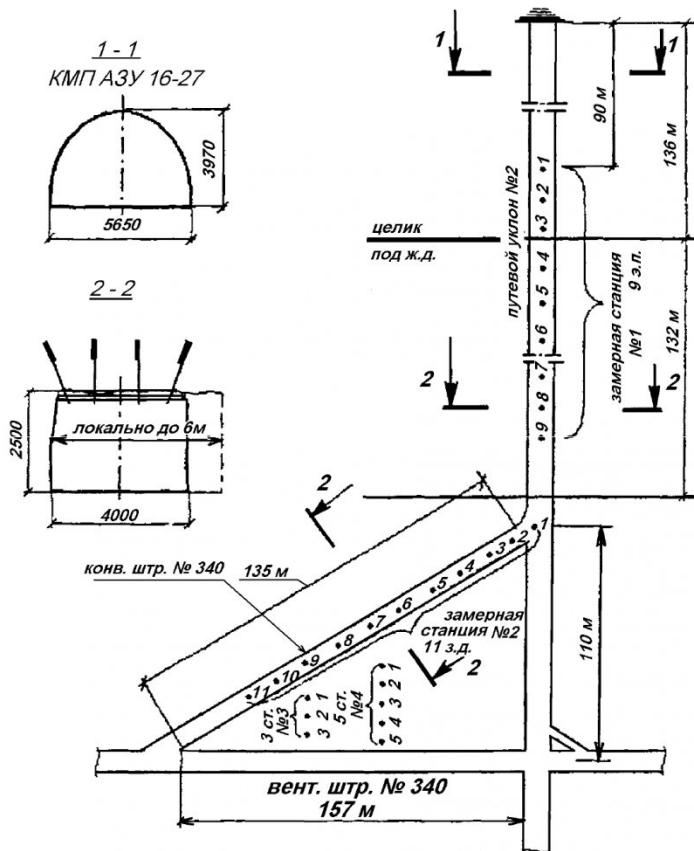


Рис. 1. Схема расположения замерных станций при отработке пласта Польсаевский I на шахте им. 7 Ноября

в выработках и скорость смещения возрастают. Кровля в отработанных выемочных камерах обрушилась в основном через 3 выемочных камеры.

Было установлено, что деформация целиков носит знакопеременный характер (нагружение, разгружение). При этом абсолютные деформации не превышали 5,43 мм, а растяжения – 5,85 мм и не выходили за пределы упругих деформаций.

Схема расчета и ориентации всех компонентов, деформаций

в плоскости измерения относительно декартовой системы координат представлена на рисунке 2. Результатом измерений являются относительные линейные деформации  $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$ .

Относительные деформации определяются по следующим формулам:

$$\varepsilon_a = u_a/l, \quad \varepsilon_d = u_d/l, \quad \varepsilon_c = u_c/l. \quad (1)$$

Эти деформации связаны с деформациями  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  и  $\varphi_{xy}$  декартовой системы координат,

где  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  линейная деформация в направлении оси  $x$ ,  $\varepsilon$  – линейная деформация направлении оси  $y$ ,  $\varphi_{xy}$  – сдвиговая деформация. Выписанные деформации связаны между собой следующими соотношениями, записанными в векторно-матричной форме:

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= \varepsilon_{xx}(\cos \theta_a) + \varepsilon_{yy}(\sin \theta_a) + \\ &+ \varepsilon_{xy}(\sin \theta_a \cos \theta_a) + \varepsilon_{yy}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\alpha = \{a, b, c\};$$

$\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varphi_{xy}$  – векторы деформации;

$\varepsilon_a$  – вектор относительных линейных деформаций для углов  $\theta_a = \{\theta_a, \theta_b, \theta_c\}$ , отсчитываемых от положительного направления оси  $x$ .

Из решения (2) вычисляются деформации  $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{xy}$ , через которые выражаются величина и направление главных деформаций в плоскости измерения по следующим соотношениям:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy})}{2} \pm \quad (3)$$

$$\pm \frac{1}{2} \sqrt{[(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + \varepsilon_{xy}^2]}$$

$$\operatorname{tg} 1.2 = \frac{\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}} \quad (4)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – наибольшая (алгебраически) и наименьшая квазиглавные деформации в фиксированной плоскости;  $\varphi_1, \varphi_2$  –

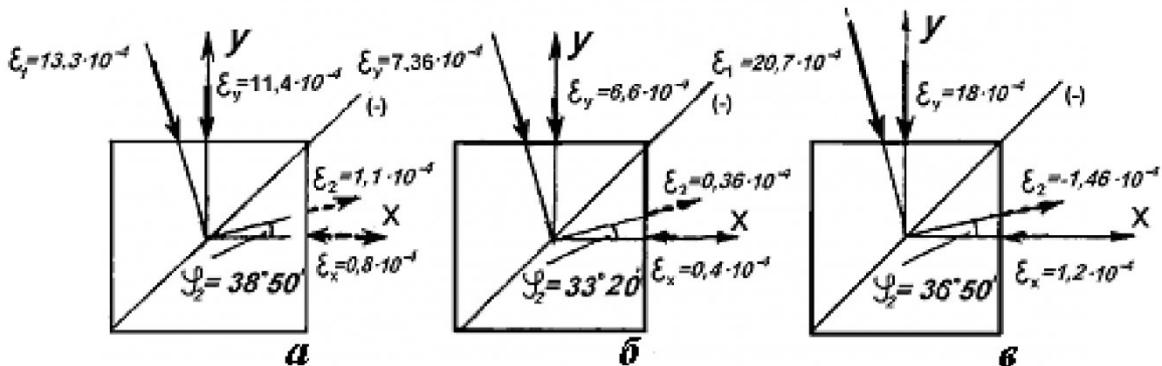


Рис. 2. Ориентация главных деформаций в плоскости измерений: а – период (28.10-29.11), б – период (29.11-23.12), в – период (28.10-23.12)

направления главных деформаций  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  относительно положительного направления оси  $x$ .

В условиях шахты им. 7 Ноября были выполнены измерения деформаций в целиках при обработке пласта Польсаевского-1 КС-системой, когда  $\theta_c = 135^\circ$ ,  $\theta_a = 0^\circ$ ,  $\theta_b = 90^\circ$ .

В этом случае:  $\varepsilon_x = \varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_y = \varepsilon_b$ ,  $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_a - \varepsilon_b + 2\varepsilon_c$ .

Ориентация наибольшей сжимающей главной деформации  $\varepsilon_1$  во всех трех случаях практически одинаковая и совпадает с направлением зависания кровли выработанного пространства. Вторая главная деформация  $\varepsilon_2$  во всех случаях растягивающая и ориентирована вблизи горизонтальной плоскости. Растяжение целика в этом направлении соответствует горнотехнической ситуации.

Прирост напряжений в целиках по замерам фотоупругих датчиков составил 0,8-1,5 МПа. При глубине горных работ 60-70м напряжения в целиках составили 1,9-3,1 МПа.

Исследования показали, что напряженно-деформированное состояние приkontурных слоев непосредственной кровли носит знакопеременный характер. Над выработками наблюдаются зоны разгрузки и растягивающих вертикальных напряжений глубиной до 1,2м. Деформации кровли происходят без резких перепадов, что способствует плавному опусканию слоев кровли без динамических проявлений. Выбранный размер неперекрываемой зоны обеспечивает постепенное и плавное разрушение целиков с течением времени.

При отработке угольных пластов камерно-столбовой системой разработки на малых глубинах смещение кровли и его скорость характеризуется относительно невысокими величинами. Смещение кровли конвейерного штрека № 340 по пласту Польсаевскому I достигала до 3,0мм в течение 10 суток, а скорость смещения до

0,26 мм/сут. При обрушении толщи пород с деформацией подзavalьных целиков отмечен рост смещений кровли конвейерного штрека до 11мм, скорости смещения до 1,0 мм/сут.

С увеличением глубины разработки увеличивается смещение кровли, сопровождаемое потерей устойчивости пород кровли в подготовительных выработках, в особенности на сопряжении выработок, закрепленных анкерной крепью.

В связи с этим были выполнены исследования проявлений горного давления на сопряжениях подготовительных и очистных забоев, закрепленных анкерами глубокого заложения на шахтах «Октябрьская» по пласту Польсаевскому I, им. 7 Ноября по пласту Надбайкаимскому и «Колмогоровская» по пласту Байкаимскому. Исследования проводились при глубине заложения анкеров 2,2 и 3,5-4,0м.

Величина абсолютных смещений пород кровли при глубине заложения анкера 3,6 м составляла 26 мм, 2,2- 66 мм (рис. 3). Активная зона смещения кровли отмечена на расстоянии 8-10 м впереди очистного забоя. Скорость смещения кровли в этой зоне достигала 6-8 мм/сут при глубине заложения анкера 2,2 м и 2-3 м/сут при глубине заложения анкера 3,6 м. Расслоение пород кровли в первом случае достигало 6 мм/сут., во втором – 1-2 мм/сут.

Пласт Байкаимский отрабатывался с оставлением верхней части пласта мощностью 2,0-2,2 м. Оставленная пачка угля, закрепленная анкерами на глубину 2,2 м, как монолитная плита дала смещение кровли после проходческих работ. При влиянии очистных работ она опускалась с расслоением на плиты с величиной до 1,0 мм.

Исследования показали, что рациональная величина опережения при возведении вторичного анкерного крепления выемочных выработок на пластах с кровлей средней устойчивости

составляет 25-30 м. В общем случае она должна составлять (1,5-2,0)  $L_{on}$ , где  $L_{on}$  величина зоны опорного давления.

Исследования были проведены при усилении крепи выработок составными и канатными анкерами глубокого заложения. Применение обеих типов анкеров обеспечило устойчивое состояние пород кровли на сопряжениях выработок.

Установлено, что для предотвращения отрыва пород, залегающих выше расчетной глубины расслоения, требуемая глубина заделки стержней анкеров второго уровня в устойчивую часть массива на сопряжениях выработок должна быть не менее

$$\ell_3 = \frac{3\sigma}{2(\sigma - L_{uu})} \times \sqrt{\frac{2\gamma \cdot a \cdot \sigma \cdot L_{uu}}{K \cdot \sigma}} (1 + \varepsilon), \quad (5)$$

где  $\sigma$  – расчетная глубина расслоения пород кровли, м;

$L_{uu}$  – шаг установки анкерной штрековой крепи, м;

$a$  – ширина выработки в проходке, м;

$\sigma$  – предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа;

$\varepsilon$  – критерий напряженности породного массива;

$$\varepsilon = \frac{K_{cjk} \gamma H}{0,8K \cdot \sigma} \quad (6)$$

где  $H$  – глубина разработки, м.

Шаг установки анкеров второго уровня рекомендуется определить по формуле:

$$L = \frac{2NP \cdot \ell}{Q \cdot L_{uu} - Y_{uu} \cdot P_{uu}} \quad (7)$$

где  $N$  – количество анкеров второго уровня по ширине выработки, шт;

$P$  – допускаемая нагрузка на анкеры второго уровня, МН;

$P_{uu}$  – допускаемая нагрузка на анкеры штрековой крепи, МН;

$Y_{uu}$  – показатель сопротивляемости системе «порода – анкерная штрековая крепь»;

$L_{uu}$  – шаг установки анкер-

ной штрековой крепи, м.

Показатель сопротивляемости системы «порода – анкерная штрековая крепь»

$$Y_{uw} = \frac{N_{uw}^2 (\ell_{uw} - \Delta_{uw})}{a \cdot (N_{uw} + 1)} + \frac{2P_{uw}}{\gamma_a (\ell_{uw} - \Delta_{uw}) \cdot L_{uw}}, \quad (8)$$

где  $\ell_{uw}$  – длина анкеров штрековой крепи, м;

$N_{uw}$  – число анкеров по ширине выработки;

$\ell_{az}$  – длина участка закрепления стержня анкера в скважине, м;

$\Delta N_{uw}$  – длина концевого участка анкера штрековой крепи, выступающего из скважины.

В камерах и заходках смещение кровли в период обрушений носит дискретный характер: на фоне постоянного опускания кровли наблюдаются участки со скачкообразным изменением смещения пород. Установлено, что такой характер смещения определяется деформацией подзатыльных целиков, где можно выделить две схемы.

При первой схеме, когда целик угля при деформировании приобретает коническую форму, по высоте целика формируется неоднородное напряженное состояние. По поверхностям контакта целика с почвой и кровлей наряду со сжимающими вертикальными силами действуют горизонтальные силы, препятствующие развитию попечных деформаций вблизи контактных поверхностей. По мере удаления от контактных поверхностей действие горизонтальных сил ослабевает, что приводит к образованию зоны одноосного сжатия, деформации целика с образованием конической формы. Данная схема характерна для целиков, когда высота целика больше ширины более чем в 1,2-1,25 раза.

При отношении высоты целика к ширине до 1,0 наблюдается косое разрушение целика. Наблюдения показали, что косое разрушение целика менее

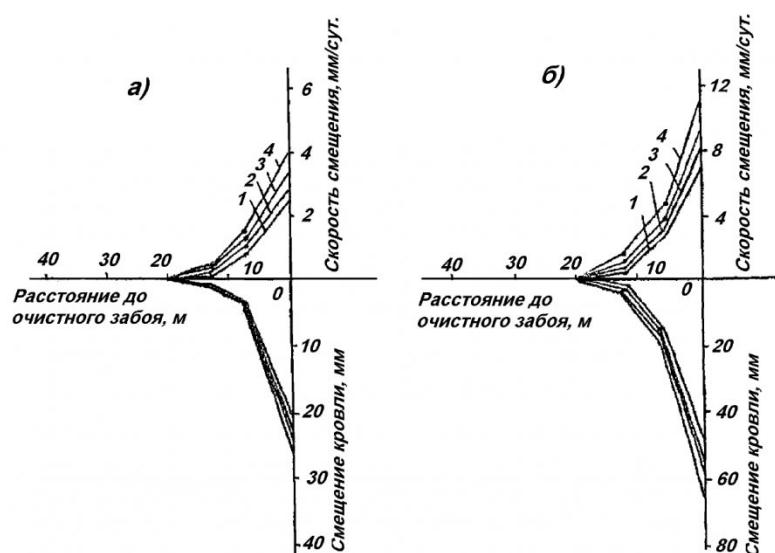


Рис. 3. Результаты проявления горного давления в вентиляционном штреке лавы 1170 при вторичном анкерном креплении (а) и на участке с базовой крепью (б): 1-4 – номера реперов в скважинах

благоприятно для поддержания кровли, чем коническое.

Установлено, что длина камеры и ее ширина являются основными геометрическими параметрами, от которых зависит смещение кровли и давление пород на крепь камеры.

При отработке междукамерных целиков текущее смещение кровли зависит от общей отработанной площади в блоке, площади сформированных подзатыльных целиков и технологии отработки целика. При отработке междукамерного целика смещение кровли в 2-2,2 раза превышает смещение при проведении и расширении камеры.

Параметры выемочного участка должны выбираться из условия максимальной безопасности в заходках и камерах. Наиболее благоприятные условия обеспечиваются, когда ширина участка выбирается с учетом показателя интенсивности нагружения элементов и фактической глубины работ:

$$L_y = JH \quad (9)$$

где  $L_y$  – ширина участка, м;

$J$  – интенсивность нагружения целиков;

$H$  – глубина разработки, м.

Длина камеры

$$L_{max} \geq L^o + 2h_{ak} \operatorname{ctg} \psi_3 \quad (10)$$

где  $L^o$  – прогнозируемый шаг

осадки основной кровли, м;

$h_{ak}$  – мощность активной кровли, м;

$\psi_3$  – угол полных сдвигов пород активной кровли, °.

Коэффициент структурного ослабления

$$L_o = K_c h_{ak} \sqrt{\frac{2\sigma_p}{\gamma_{cp} \cdot (H - h_o)}} \quad (11)$$

где  $\sigma_p$  – допустимое сопротивление пород основной кровли на растяжение, т/м<sup>2</sup>;

$\gamma_{cp}$  – средневзвешенный объемный вес пород, лежащих выше активной кровли, т/м<sup>3</sup>;

$h_o$  – мощность основной кровли, м.

Выбор ширины камеры осуществляется, исходя из размеров выемочного комбайна с учетом выполнения операций по выемке и последующей проверкой устойчивости пролета.

Устойчивость пролета выработки  $l_{np}$

$$l_{np} = \sqrt{\frac{2\sigma_p h_o (1 - K_{3ad}) \frac{\gamma h_{ak}}{\sigma_{cjk}}}{K_{np} \cdot \gamma_{cp}}} \quad (12)$$

обеспечивается при  $l_{np} \geq 2a$ ; здесь  $2a$  – фактический пролет выработки, м;  $K_{np}$  – коэффициент учета пригрузки пород, расположенных выше активной

кровли, принимается равным 2;  $K_{зад}$  – коэффициент учета закрепления слоя пород в заделке на изгибающий момент.

Ширина межкамерных целиков должна выбираться исходя из необходимости использования части его на формирование подзатавальных целиков.

Ширина и длина заходки предварительно выбираются по параметрам применяемого комбайна, затем производится их проверка по условию обеспечения устойчивости непосредственной кровли в заходке путем сравнения устойчивой площади обнажения кровли условной одиночной выработки с площадью обнажения кровли.

Смещение пород кровли в камерах происходит по двум схемам. Первая схема с образованием устойчивой формы свода обрушений. Нагрузка пород кровли на крепь выработки определяется массой пород в пределах свода обрушения. Такая схема образуется на участках с неустойчивыми и средней устойчивости породами непосредственной кровли. По второй схеме сдвижение пород происходит в форме трапеции толстыми плитами. Нагрузка на крепь выработки определяется массой плиты, потерявшей связь с вышестоящими породами. Такая схема сдвижения наблюдается при наличии в кровле выработки устойчивых пород. В качестве критерия устойчивости пролета выработки принимается относительный прогиб несущего слоя. Породы непосредственной кровли обладают структурной нарушенностью: трещиноватостью, слоистостью, зернистостью, пористостью и др. Прочностные характеристики пород изменяются также по технологическим причинам. Поэтому в расчетах устойчивости кровли рекомендуется учет коэффициента струк-

турного ослабления кровли.

По результатам исследований разработаны технологические схемы с применением камерно-столбовой системы, которые по способу управления кровлей предполагают полное обрушение кровли и закладку выработанного пространства.

Применение того или иного способа управления кровлей предусматривается при отработке запасов угля:

- в целиках и пожароопасных пластах – с литой твердеющей закладкой;
- в целиках – с литой твердеющей закладкой в сочетании с обрушением;
- в целиках – с обрушением с выемкой части запасов и оставлением целиков;
- на участках любой формы и ограниченных размеров – с обрушением.

Основная сущность технологии ведения работ заключается в разделении технологических процессов проведения камер и отработки междукамерных целиков на отдельные этапы и в соблюдении строгой последовательности выполнения этапов технологического цикла.

Для приготовления литой твердеющей смеси в качестве закладочного материала рекомендовано использовать шлаки Западно-Сибирского металлургического комбината, белитовые и фторогипсовые шламы, золы уноса ТЭЦ после сжигания углей марок Д, Б, Г, известняк, горелые породы, золошлаки, применение которых позволяет обеспечивать прочность до 9 МПа через 28 суток.

Для повышения безопасности работ при проведении камер рекомендовать способ, обеспечивающий прямоточное проветривание и отсос высококонцентрированной пылеметановоздушной смеси из зоны разрушения массива рабочим органом

проходческого комбайна. Суть способа заключается в бурении скважин диаметром 150-200 мм с вентиляционного штрека под углом 35-40° по отношению к оси выемочной камеры. Скважины бурятся, не достигая 5-6 м конвейерного штрека. Далее устье скважины герметизируется, вводятся патрубки, которые подсоединяются к вытяжному трубопроводу, подключенному через скруббер к вакуум-вентилятору. При проведении очередной камеры или выемке угля из межкамерного целика при подсечении вытяжных скважин проветривание осуществляется посредством образованной вытяжной сети.

Высокая эффективность применения камерно-столбовой системы может быть достигнута при выполнении условий:

- при перспективном планировании горных работ по шахтному (выемочному) полю заблаговременно предусматривать возможность отработки оставляемых целиков и некондиционных участков с применением камерно-столбовой системы разработки;
- поддерживать подготовительные выработки, прилегающие к оставленным участкам, в рабочем состоянии с целью последующей отработки целиков камерно-столбовой системой;
- своевременно изолировать близлежащие отработанные участки на пластах, склонных к самовозгоранию;
- обеспечивать исключение создания зон повышенного горного давления и других опасных зон при отработке сближенных пластов над или под оставленными участками;
- производить рациональный выбор горнопроходческого оборудования для отработки оставленных участков.

□ Автор статьи:

Климов

Владимир Григорьевич

– заместитель управляющего

Ленинск-Кузнецкого филиала «СУЭК»