

# Исследование возможности отработки ограниченных запасов угольных пластов со сложной пространственной формой при помощи камерно-столбовой технологии в условиях шахт Ленинск-Кузнецкого филиала ОАО «СУЭК»

**КЛИМОВ****Владимир Григорьевич***Заместитель управляющего  
Ленинск-Кузнецкого филиала  
ОАО «СУЭК»***РЕМЕЗОВ****Анатолий Владимирович***Доктор техн. наук  
Профессор кафедры  
РМПИ ГУ КузГТУ*

Анализ применяемых технологий в угольной отрасли стран с развитой промышленностью показывает, что камерно-столбовая система применяется главным образом для отработки запасов угля, где использование очистных механизированных комплексов малоэффективно из-за сложных конфигураций выемочных полей, наличия нарушенности, незначительных запасов отрабатываемых участков. Преимущественное распространение камерно-столбовая система разработки 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.

Камерно-столбовая система по сравнению с отработкой длинными лавами характеризуется низкими капитальными затратами, простой организацией работ, повышенной адаптируемостью к различным горно-геологическим условиям и обеспечивает легкое совмещение с другими системами разработки. Разнообразие горно-геологических условий обусловило применение большого количества различных 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, когда отрабатываемый участок разделяется на столбы, которые разрабатываются частично или полностью.

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

## От редакции

В журнале «Уголь» № 2-2007 в статье А.В. Ремезов, В.Г. Харитонов, А.В. Рогачков, П.В. Ереметов, С.И. Хлудов, С.Р. Игбердин, П.С. Коротаев «К вопросу возможного увеличения длины очистного забоя» (с. 3-4) допущена опечатка в написании фамилии одного из авторов – С.Р. Игбердин (напечатано С.Р. Игбергин).

**Редакция и соавторы данной статьи приносят извинения автору Игбердину Салавату Рашидовичу.**

Исходя из вышеизложенного, были сформированы цель и задачи исследований. При выборе параметров экспериментальной технологической схемы использовались результаты анализа и обобщения наиболее известных методов расчета ширины камер, междуканальных и подзавальных целиков.

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

Расчетами установлено, что безопасная и эффективная отработка пласта Польшаевский 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 7-7,5 м, ширина подзавальных целиков не менее 2,1 м, ширина и длина заходов не должна превышать 4,3 и 75 м, ширина междуканальных целиков — 8 м.

Пласт Польшаевский I имеет мощность 2,56 м. Непосредственно над пластом залегает ложная кровля мощностью 0,3 м, сложенная алевролитом крепостью 2-3. Непосредственная кровля представлена алевролитом мелкозернистым мощностью 12 м, крепостью 3-4, средней устойчивости, основная — песчаником мелкозернистым мощностью 15 м, крепостью 4-6, почва — алевролитом мелкозернистым мощностью 5 м, 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 подзавальными целиками угля. Во всех случаях интенсивность электромагнитного излучения регистрировалась на уровне 10-12 импульсов в сек. Схема расположения замерных станций представлена на рис. 1.

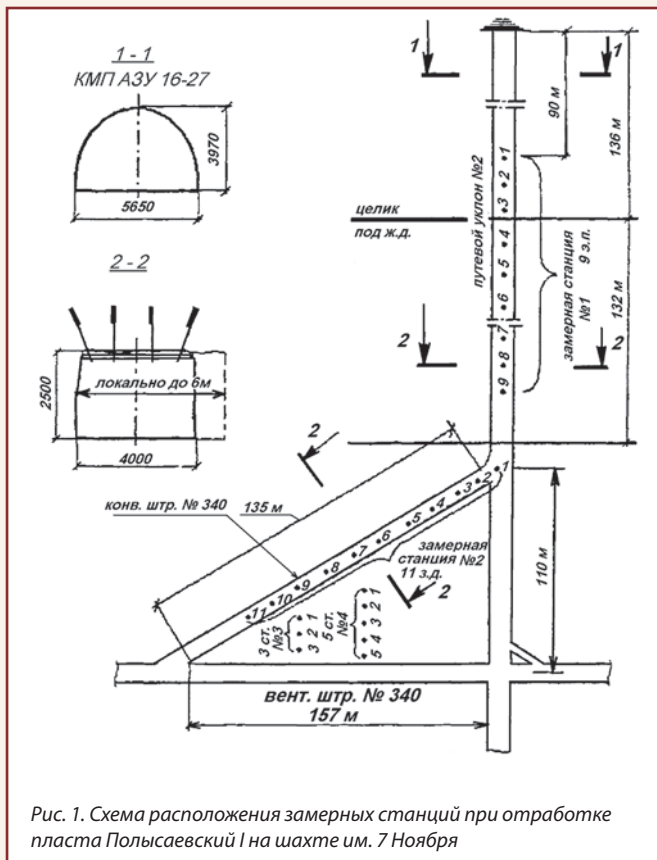


Рис. 1. Схема расположения замерных станций при отработке пласта Польшаевский I на шахте им. 7 Ноября

Установлено, что геомеханические процессы наиболее активно проявляются при подготовке междуканальных целиков к выемке и в периоды отработки междуканальных целиков. Существенное влияние на параметры горного давления оказывают геометрические размеры камер и междуканальных целиков. С увеличением площади поперечного сечения камер и их длины смещение пород кровли в выработках и скорость смещения возрастают. Кровля в отработанных выемочных камерах обрушалась в основном через три выемочных камеры.

Было установлено, что деформация целиков носит знакопеременный характер (нагружение, разгрузка). 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 рис. 2. Результатом измерений являются относительные линейные деформации  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_\theta$ ,  $\varepsilon_c$ .

Относительные деформации определяются по следующим формулам:

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

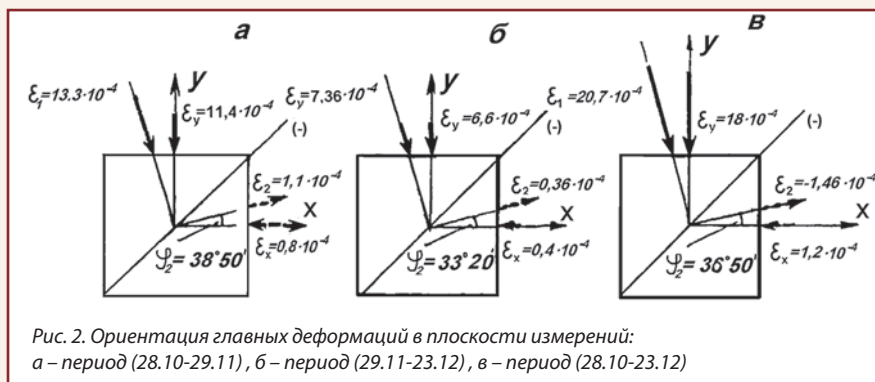


Рис. 2. Ориентация главных деформаций в плоскости измерений: а – период (28.10-29.11), б – период (29.11-23.12), в – период (28.10-23.12)

Три деформации  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_\theta$ ,  $\varepsilon_c$  связаны с деформациями  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  и  $\varphi_{xy}$  декартовой системы координат, где  $\varepsilon_x$  — линейная деформация в направлении оси  $x$ ,  $\varepsilon_y$  — линейная деформация в направлении оси  $y$ ,  $\varphi_{xy}$  — сдвиговая деформация. Выписанные деформации связаны между собой следующими соотношениями, записанными в векторно-матричной форме:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{xx} (\cos \theta_a) + \varepsilon_{yy} (\sin \theta_a) + \varepsilon_{xy} (\sin \theta_a \cos \theta_a) + \varepsilon_{yy} \quad (2)$$

$\alpha = \{a, \theta, c\}; \dots$  — вектор строки;

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

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

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

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

$$\tan \varphi_{1,2} = \frac{\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  — наибольшая (алгебраически) и наименьшая ква-зиглавные деформации в фиксированной плоскости;  $\varphi_1, \varphi_2$  — 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 Польшаевский-1 КС-системой, когда  $\theta_c = 135^\circ$ ,  $\theta_a = 0^\circ$ ,  $\theta_\theta = 90^\circ$ .

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

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

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

Исследования показали, что напряженно-деформированное состояние приконтурных слоев непосредственной кровли носит знакопеременный характер. Над выработками наблюдаются зоны разгрузки и растягивающих вертикальных напряжений глубиной до 1,2 м. Деформации кровли происходят без резких перепадов, что способствует плавному опусканию слоев кровли без динамических проявлений. Выбранный размер перекрываемой 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 характеризуются относительно невысокими величинами.

Смещение кровли конвейерного штрека № 340 по пласту Польшаевский I достигало до 3 мм в течение 10 сут, а скорость смещения — до 0,26 мм/сут. При обрушении толщи пород с деформацией подзавальных целиков отмечен рост смещений кровли конвейерного штрека до 11 мм, скорости смещения до 1 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.

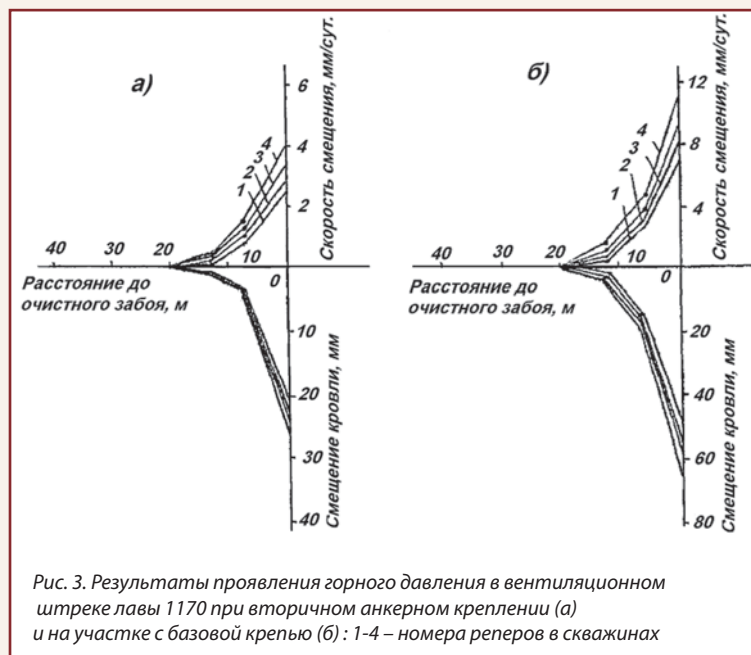


Рис. 3. Результаты проявления горного давления в вентиляционном штреке лавы 1170 при вторичном анкерном креплении (а) и на участке с базовой крепью (б): 1-4 – номера реперов в скважинах

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 Польшаевский I, им. 7 Ноября по пласту Надбайкаимский и «Колмогоровская» по пласту Байкаимский. Исследования проводились при глубине заложения анкеров 2,2 и 3,5-4 м.

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 мм/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 2-2,2 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 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 эта величина должна составлять (1,5-2), где — величина зоны опорного давления.

Исследования были проведены при усилении крепи выработок составными и канатными анкерами глубокого заложения. Применение обоих 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

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

где  $\sigma$  — расчетная глубина расслоения пород кровли, м;  $L_{\text{ш}}$  — 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.

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

где  $H$  — глубина разработки, м.

Шаг установки анкеров второго уровня рекомендуется определить по формуле

$$L = \frac{2N P \cdot \ell}{Q \cdot L_{\text{ш}} - Y_{\text{ш}} \cdot P_{\text{ш}}}, \quad (7)$$

где  $N$  — количество анкеров второго уровня по ширине выработки, шт;  $P$  — допускаемая нагрузка на анкеры второго уровня, МН;  $P_{\text{ш}}$  — допускаемая нагрузка на анкеры штрековой крепи, МН;  $Y_{\text{ш}}$  — показатель сопротивляемости системе «порода — анкерная штрековая крепь»;  $L_{\text{ш}}$  — шаг установки анкерной штрековой крепи, м.

Показатель сопротивляемости системы «порода — анкерная штрековая крепь» определяется из выражения

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

где  $N_{\text{ш}}$  — число анкеров, установленных по ширине выработки;  $\ell_{\text{ш}}$  — длина анкеров штрековой крепи, м;  $\ell_{a,3}$  — длина участка закрепления стержня анкера в скважине, м;  $\Delta_{\text{ш}}$  — длина концевой участка анкера штрековой крепи, выступающего из скважины, м.

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 подзавальных целиков. В деформации целиков можно выделить две схемы.

Первая схема, когда целик угля при деформировании приобретает коническую форму. При такой схеме по высоте целика формируется неоднородное напряженное состояние. По поверхностям контактирования целика с почвой и кровлей наряду со сжимающими вертикальными силами действуют горизонтальные силы, препятствующие развитию поперечных 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 1,0 и менее раза наблюдается косое разрушение целика. Наблюдения показали, что косое разрушение целика менее 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 междуканальных целиков текущее смещение кровли зависит от общей отработанной площади в блоке, площади сформированных подзавальных целиков и технологии отработки целика. При отработке междуканального целика величина смещения кровли в 2-2,2 раза превышает смещение кровли при проведении и расширении камеры.

Параметры выемочного участка должны выбираться из условия обеспечения 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 определяется из выражения

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

где  $L^o$  — прогнозируемый шаг осадки основной кровли, м;  $h_{ak}$  — мощность активной кровли, м;  $\psi_3$  — угол полных сдвижений пород активной кровли, град.

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

где  $K_c$  — коэффициент структурного ослабления;  $\sigma_p$  — допустимое сопротивление пород основной кровли на растяжение, т/м<sup>2</sup>;  $\gamma_{cp}$  — средневзвешенный объемный вес пород, залегающих выше активной кровли, т/м<sup>3</sup>;  $h_o$  — мощность основной кровли, м.

Выбор ширины камеры предварительно осуществляется как технологический параметр, исходя из размеров выемочного комбайна с учетом выполнения операций по выемке и последующей проверке устойчивости пролета.

Устойчивость пролета выработки обеспечивается при условии:

$$l_{np} \geq 2a \quad (12)$$

где  $l_{np}$  — устойчивый пролет выработки, м;  $2a$  — фактический пролет выработки, м.

$$l_{np} = \sqrt{\frac{2\sigma_p \cdot h_o \left(1 - \frac{\gamma_{зад} \cdot h_{ак}}{\sigma_{сж}}\right)}{K_{np} \cdot \gamma_{cp}}}, \quad (13)$$

где  $K_{np}$  — коэффициент, учитывающий пригрузку пород, расположенных выше активной кровли, принимается равным 2;  $K_{зад}$  — коэффициент, учитывающий закрепление слоя пород в заделке на изгибающий момент.

Ширина межкамерных целиков должна выбираться исходя из необходимости использования части его на формирование подзавальных целиков. Ширина и длина заходки предварительно выбираются по параметрам применяемого комбайна, затем производится проверка их 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 сдвигание пород кровли 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 выработок рекомендуется учитывать коэффициент структурного ослабления кровли.

По результатам испытаний и 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 межкамерных 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 Запально-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 сут.

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 вентиляционным штреком 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 следующих 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, прилегаемые 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 горно-проходческого оборудования для отработки оставленных участков.