

УДК 622.281(574.32)

**В.Ф. Демин, Д.Р. Ахматнуров, В.В. Журов, Т.В. Демина**

**РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОВЕДЕНИЯ И СИСТЕМ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ  
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ  
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА  
ГОРНЫХ ПОРОД**

*Проведенные исследования напряженно-деформированного состояния вмещающих пород в зависимости от мощности слоя легкообрушающихся пород при разной длине анкерирования позволили установить характер поведения боковых пород по зонам их расположения.*

*Ключевые слова: горный массив, анкерное крепление, анкерирование, вмещающие породы.*

---

**В** целях снижения затрат при поддержании горных выработок на шахтах Карагандинского бассейна используется анкерная крепь, которая быстро воспринимает нагрузку и препятствует расслоению окружающего массива и увеличению размеров зон неупругих деформаций, чем снижается нагрузка на крепь. Порода, «сшитая» анкерами, выполняет роль крепи и способствует уменьшению смещений пород в контур сечения выработок.

На шахтах Карагандинского бассейна все большее применение в общем объеме (60 км выработок в год) получает анкерная (12 %) и комбинированная анкерно-арочная (42 %) крепь. Ниже приведена динамика применения анкерной и смешанной (арочно-анкерной) крепи по годам в Карагандинском бассейне (рис. 1).

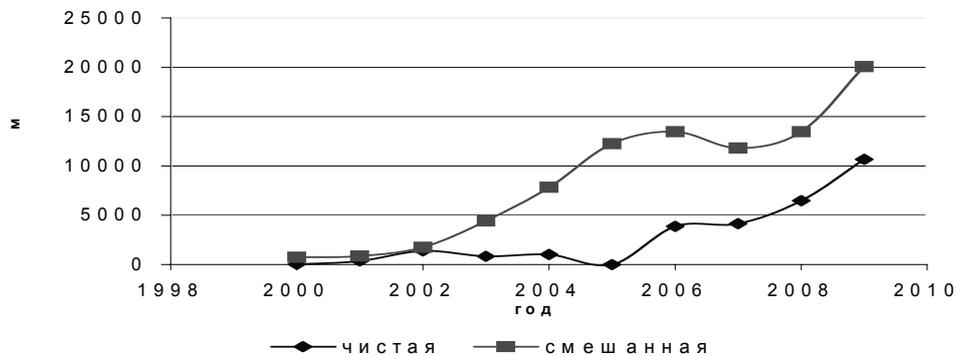
Разработка эффективной технологии проведения подготовительных выработок с анкерным креплением может быть достигнуто созданием прогрессивных технологических схем

возведения с учетом совместного напряженно-деформированного состояния системы «крепь-массив».

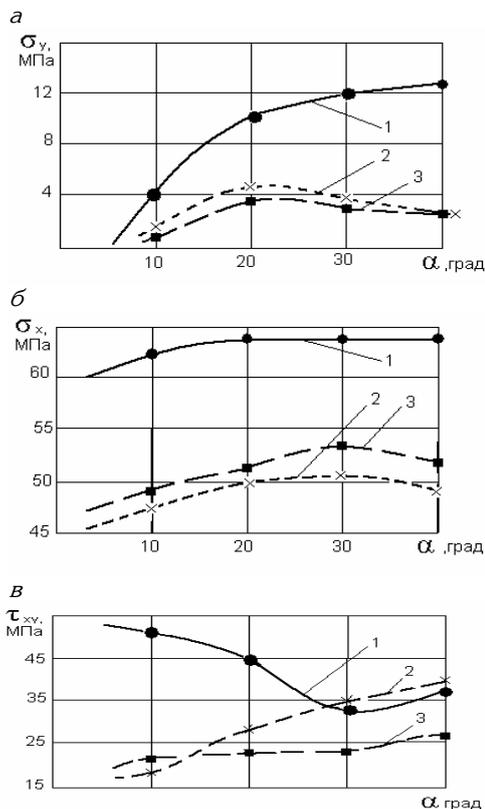
Для этого проведены исследования напряженного состояния массива горных пород вокруг выемочных выработок в условиях шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» для условий технологической схемы проведения конвейерного промежуточного штрека З1к<sub>12</sub>-ю, на математических моделях с использованием программного комплекса ANSYS, которые позволили установить влияние горно-геологических факторов на условия эксплуатации крепи подготовительных выработок.

Было исследовано влияние формы сечения горной выработки и угла падения угольного пласта на величину возникающих максимальных напряжений в массиве горных пород при креплении выработки анкерной крепью.

При сводчатой (арочной) форме поперечного сечения выемочной выработки нормальные напряжения ( $\sigma_y$ )



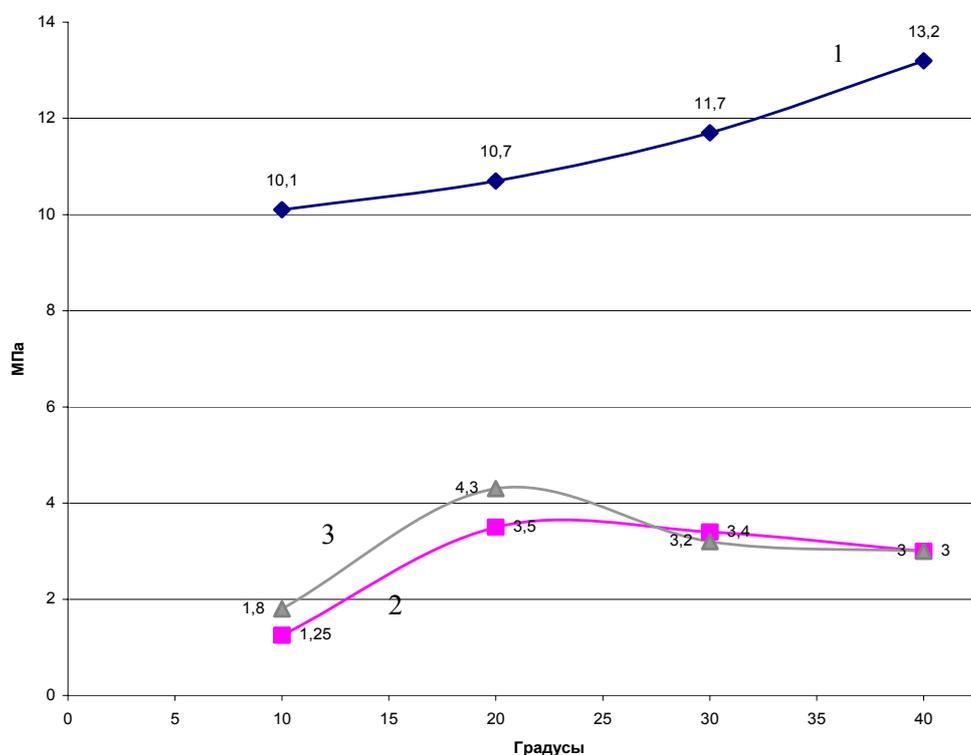
**Рис. 1. Динамика объемов крепления выработок анкерной крепью на шахтах Карагандинского угольного бассейна**



**Рис. 2. Влияние вида формы выработки и угла падения пласта на величину максимальных нормальных (а); продольных (б); касательных (в) напряжений в массиве пород при анкерном креплении выработки: 1 — арочная; 2 — полигональная; 3 — прямоугольная**

растут при увеличении угла падения пласта ( $\alpha$ ) с  $10^\circ$  до  $40^\circ$  по показательной функции диапазоне от 10 до 13,5 МПа (рис. 2, а). Продольные напряжения ( $\sigma_x$ ) увеличиваются при  $\alpha$  от  $10^\circ$  до  $20^\circ$  в диапазоне от 63,2 до 64,1 МПа, а затем влияние угла падения не проявляется (рис. 2, б). Касательные напряжения ( $\tau_{xy}$ ) пропорционально снижается в диапазоне углов падения пласта  $\alpha = 10^\circ - 30^\circ$  с 50 до 33 МПа, а при  $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$  растут 33 до 37 МПа (рис. 2, в).

Распределение нормальных напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающих горную выработку, представлено на рисунке 2,а. Для прямоугольной формы поперечного сечения выемочной выработки максимальные нормальные напряжения  $\sigma_y$  растут при  $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$  с 1,2 до 3,5 МПа, а затем незначительно падает при  $\alpha = 20^\circ - 40^\circ$  с 3,5 до 3,0 МПа. Продольные напряжения ( $\sigma_x$ ) увеличиваются с 49 до 53,4 МПа при  $\alpha = 10^\circ - 30^\circ$ , а затем резко снижается до 52 МПа при  $\alpha = 40^\circ$ . Касательные напряжения ( $\tau_{xy}$ ) растут по



**Рис. 3. Распределение максимальных напряжений в боковых породах, окружающих выработку при различной форме ее поперечного сечения в зависимости от угла падения пласта: 1 — арочная; 2 — прямоугольная; 3 — полигональная**

неярко выраженной показательной функции с 18 до 38 МПа при изменении  $\alpha = 10^\circ - 40^\circ$ . Значения продольных напряжений в зонах, окружающих горную выработку, представлены на рис. 2, б.

На рис. 3 представлено распределение максимальных напряжений в боковых породах, окружающих выработку при различной форме ее поперечного сечения (арочная; прямоугольная; полигональная) в зависимости от угла падения пласта.

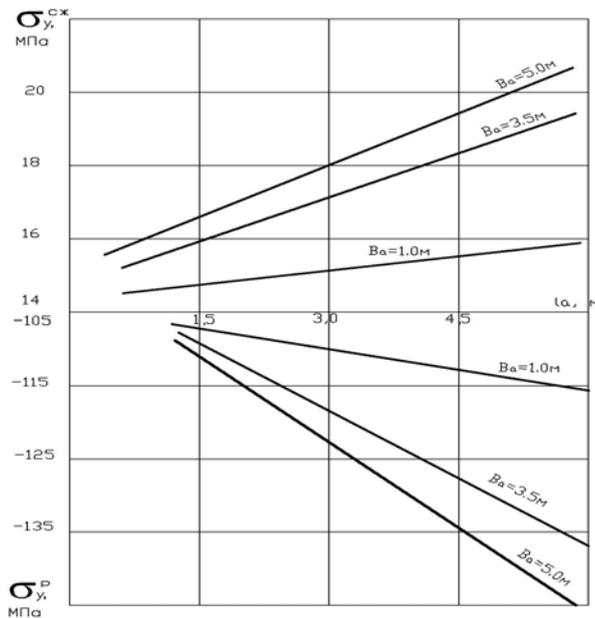
При полигональной форме поперечного сечения горной выработки тенденции изменения напряженно-деформированного состояния примерно повторяют характер изменения зависимостей при прямоугольной

форме сечения горной выработки. Лишь напряжения  $\sigma_y$  выше по величине в 1,5 раза,  $\sigma_x$  наоборот ниже на 2—3 МПа, а  $\tau_{xy}$  больше в 1,5—2,0 раза.

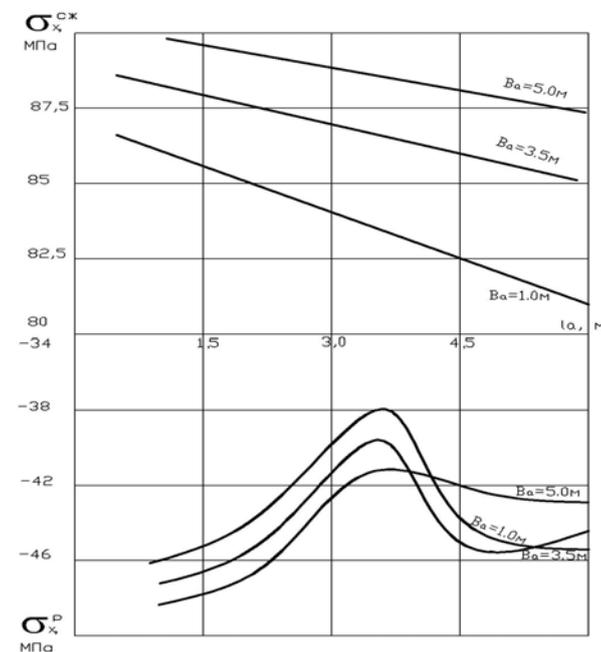
Проведенные исследования позволяют сделать вывод о предпочтительности применения для условий разработки пласта  $K_{10}$  шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» прямоугольной формы сечения выемочных выработок с анкерным креплением вмещающих пород.

Проведены также исследования напряженно-деформированного состояния вмещающих пород в зависимости от мощности слоя легкообрушающихся пород при разной длине

а



б

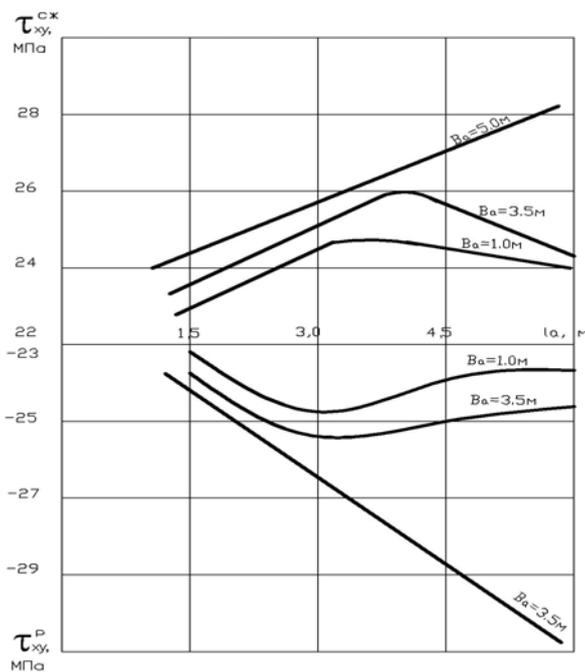


**Рис. 4. Динамика изменения нормальных (а), поперечных (б) и касательных (в) напряжений в приконтурных породах подготовительной выработки от длины анкерирования и мощности слоя пород**

их анкерирования. Исследования выполнены на примере выработки трапециевидной формы поперечного сечения при следующих параметрах расчетной схемы: угол падения пласта  $15^\circ$ , его мощность 3,8 м; глубина разработки 400 м; сечение выработки  $15,5 \text{ м}^2$ ; диаметр анкера 0,022 м.

Исследован характер изменения и распределения напряжений в кровле, почве и боках выработки. При величине слоя легкообрушающихся пород от 1,03 до 6,0 м и длине анкера от 2,4 до 5,0 м происходят следующие изменения напряжений вокруг выработки. Максимальные и минимальные нормальные напряжения с ростом длины анкера (с 1,5 до 6 м) и увеличением мощности слоя легкообрушающихся пород (например, сложенного аргиллитом) с 1 до 6 м растут в пропорциональной линейной зависимости (рис. 4, а).

Изменения напряжений в рассматриваемом диапазоне в продольной плоскости с ростом длины анкера и увеличением толщины слоя легкообрушающихся пород имеет следующие тенденции: растягивающие – уменьшаются, а сжимающие – имеют скачок при длине анкера 3,0–3,5 м и в целом находятся в узком диапазоне (42–48 МПа) – рис. 4, б.



**Рис. 4 (продолжение). Динамика изменения нормальных (а), поперечных (б) и касательных (в) напряжений в приконтурных породах подготавливающей выработки от длины анкеровки и мощности слоя пород**

Закономерности изменения касательных напряжений представлены на (рис. 4, в) и имеют тенденцию роста при толщине слоя аргиллита 5 м, а при толщине слоя аргиллита 1,0 – 3,5 м увеличиваются при изменении длины анкера с 1,5 до 3,0 (3,5) м, а затем снижается.

При этом увеличение диаметра шпуров (до 0,05 м) негативно сказывается на возникающих напряжениях и приводит к их двукратному росту на всем диапазоне.

Проведенные исследования напряженно-деформированного состояния вмещающих пород в зависимости от мощности слоя легкообрушающихся пород при разной длине анкеровки позволили установить следующий характер поведения боко-

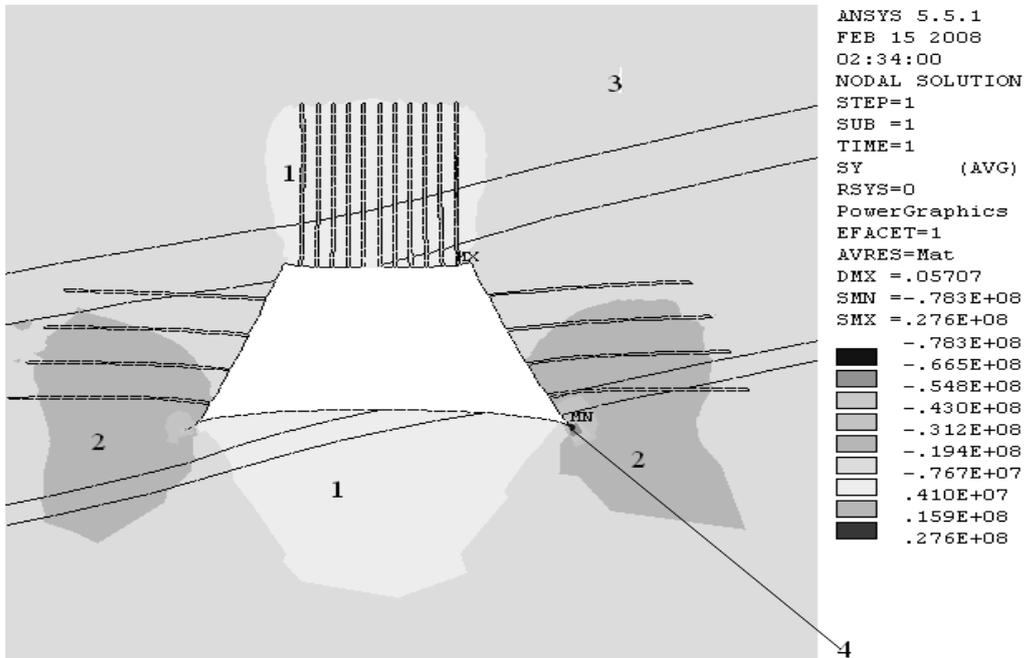
вых пород по зонам их расположения. С изменением мощности слоя аргиллита напряжения в зонах вокруг выработки изменяются не существенно. По значениям напряжений массива горных пород вокруг выработки можно разбить на следующие зоны: весьма неустойчивая ( $R_{сж} < 20$  МПа); неустойчивая ( $20 \leq R_{сж} < 40$  МПа); средней устойчивости ( $40 \leq R_{сж} < 60$  МПа); устойчивая ( $R_{сж} \geq 60$  МПа).

Исследовано влияние управляемости пород кровли (с увеличением слоя легкообрушающегося аргиллита) при трапециевидной форме поперечного сечения выработки. Параметры расчетной схемы: угол падения пласта  $15^\circ$ , его мощность 3,8 м; глубина разработки 400 м; сечение выработки  $15,5 \text{ м}^2$ ; длина анкера 3,0 м, при его диаметре 0,05 м.

На рис. 5 представлено распределение продольных напряжений при слое аргиллита 7,5 м по контуру горной выработки. Анализ распределения напряжений показывает, что вокруг выработки возникают зоны неустойчивых горных пород. В большей степени это касается кровли и почвы выработки, также ее боков в области нижней части боковых сторон контура выработки.

Разработано технологическое решение, позволяющее использовать результаты выполненных исследований способ крепления подготавливающей горной выработки в зонах с неравномерным горным давлением — рис. 6.

В процессе проведения горной выработки по мере продвижения проходческого забоя, на требуемую пас-



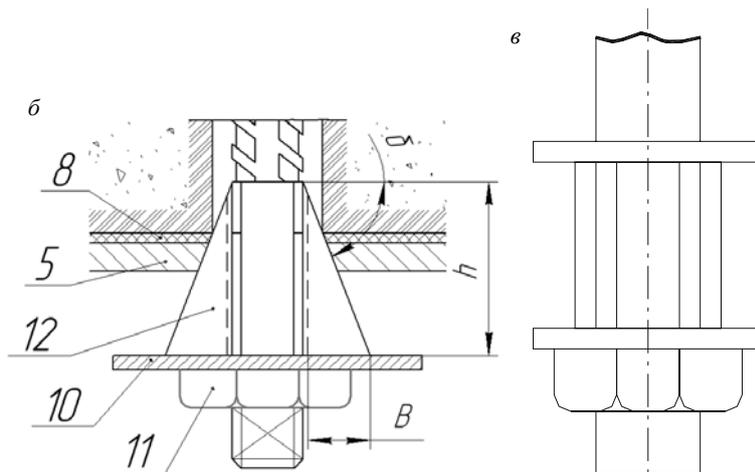
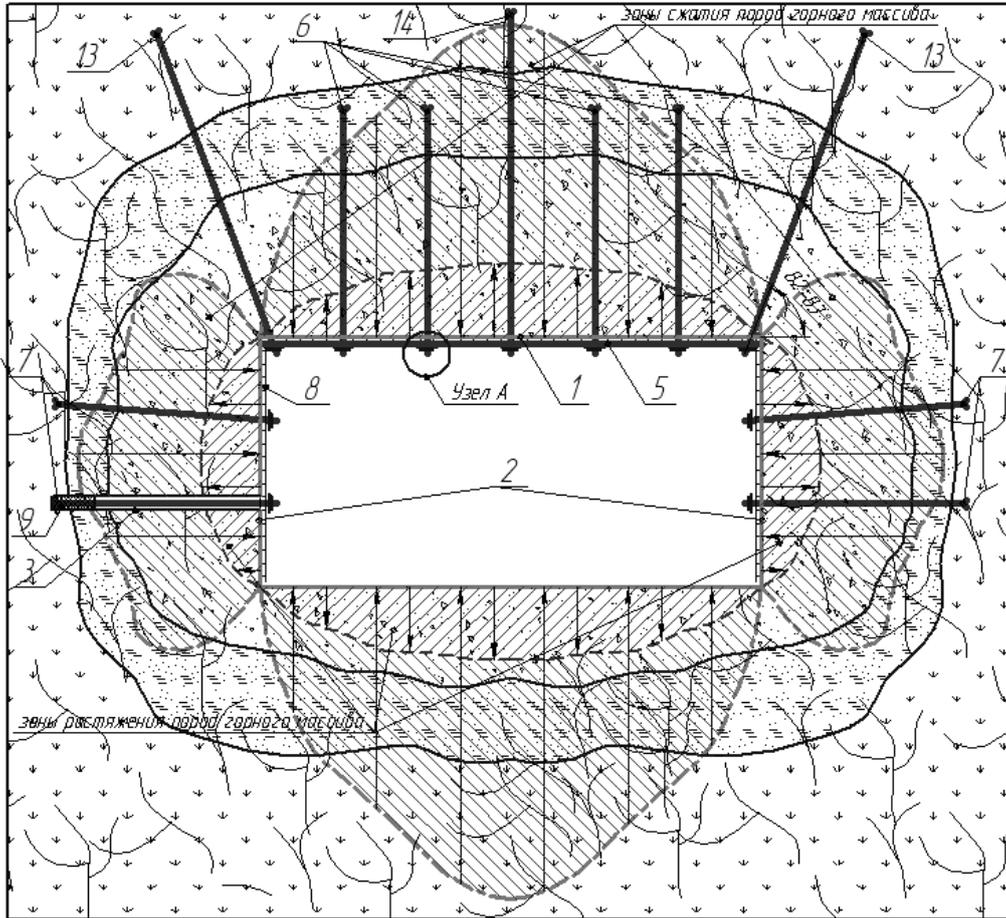
**Рис. 5. Распределение областей равных продольных напряжений в массиве:**  
 1 – зона весьма неустойчивая; 2 – зона неустойчивая; 3 – зона неустойчивая; 4 – зона средней устойчивости

паспортом крепления величину, производят обортку кровли 1 и боков 2 выработки от отслоившихся кусков угля и породы. На очередной проходческий цикл бурят рядами шпур 3 (условно показан только один) в кровлю и бока выработки, необходимой длины и диаметром под углами установленными паспортом крепления выработки, в соответствии с отверстиями 4 в металлических подхватах (штрипсах) 5. Крепление начинают с установки кровельных сталеполимерных анкеров 6 (длиной 2,4 м) и боковых анкеров 7 (длиной 1,8 м). Предварительно под штрипсы устанавливают металлическую сетку-затяжку 8. Для закрепления анкеров в пробуренный шпур досылают необходимое количество ампул. При вращении подачи анкерный стержень разрывает оболочку

ампул и перемешивает компоненты скрепляющего раствора 9.

Перемещение анкера производят до упора в дно шпура. Анкер в этой позиции удерживают до полного отверждения состава ампул. После отверждения состава устанавливают прижимную пластину 10, которую закрепляют гайкой 11, производя при этом натяжение анкера. Между штрипсом и пластиной с натяжной гайкой устанавливают конусообразную проставку 12, которая при восприятии нагрузки обеспечивает податливость крепи за счет своей деформации. Конструктивная податливость проставки составляет 0,07—0,1 (до 0,15) м, начальная ее толщина равна 1,5—3,0 мм, ширина опорной площадки 5—8 мм при угле конусности 10—15°. Затем производят установку анкерного крепления вторичного

a



**Рис. 6. Способ крепления подготовительной горной выработки в зонах с неравномерным горным давлением: а – поперечный разрез; б – податливая конусная втулка; в – жесткая втулка**

уровня закрепления, состоящей из угловых 13 и вертикального 14 кровельных канатных анкеров (длиной 4-5 м). Их установку производят под углом 82-83° к оси выработки. Угол установки обосновывается. Закрепление канатного анкера производят при помощи полимерного состава или цементного раствора по всей длине шпура. Для контроля полноты заполнения шпура закрепляющим составом в конструкцию анкера введена центральная воздухоотводящая трубка ограниченной длины. Нагнетание скрепляющего состава в шпур прекращают при появлении смолы из воздухоотводящей трубки.

При таком выполнении анкерного крепления: слабоустойчивые слоистые породы непосредственной или ложной кровли подвешиваются анкерами к основной кровле. Различные породные слои, скрепляясь анкерами, образуют составную балку, предохраняющую кровлю от обрушения. Снижение или полное отсутствие воз-

действия неравномерных растягивающих и сжимающих напряжений, которые действуют в углах кровли, достигается за счет установки угловых кровельных канатных анкеров. Податливая активная крепь работает как предохранительный клапан механизированной крепи, т.е. при критических нагрузках срабатывает – частично сминается податливый элемент, что позволяет крепи выполнять свои функции без разрушения.

Применение данного способа крепления подготовительной выработки обеспечивает: снижение смещений и расслоений пород кровли и боков выработки; уменьшение газовыделения метана в полость выработки (за счет уменьшения деформаций); повышение скорости проведения выработки за счет уменьшения трудоемкости процессов производственного цикла; создание комфортных и безопасных условий труда горнорабочих; экономический эффект, за счет снижения затрат на проведение выработки. **ГИАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Демин Владимир Федорович* — доктор технических наук, профессор, vladfdemin@mail.ru,  
*Демина Татьяна Владимировна* — кандидат технических наук, старший преподаватель,  
*Ахматнуров Д.Р.* — магистр, ассистент,  
*Журов Виталий Владимирович* – кандидат технических наук, старший преподаватель,  
Карагандинский государственный университет.

