

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ С АНКЕРНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ

В.Ф. Демин, Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан,

Р.Н. Терещук, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния приконтурного массива, проявления горного давления и условий поддержания выработок в зависимости от горнотехнических и технологических параметров. Исследования позволили установить степень их влияния на эффективность применения анкерного крепления выемочных выработок.

При эксплуатации шахт с ростом глубины разработки одной из проблем, требующей решения, является обеспечение устойчивости горных выработок. Наиболее подвержены влиянию горного давления пластовые выработки. Потери площади их поперечного сечения достигают 60-70%. Это приводит к тому, что 20% выработок ежегодно ремонтируется и переукрепляется. Доля затрат на проведение, крепление и поддержание выработок достигает 15-20% от себестоимости добычи угля. Ремонт выработок занимаются более 10% подземных рабочих.

Опыт применения профилей большего типоразмера и увеличения плотности установки металлорамной крепи (МРК) показывает, что при значительном увеличении металлоемкости выработок и соответственно трудоемкости возведения рамной крепи общий эффект получается незначительным. Практика ее эксплуатации выявила ряд серьезных недостатков, которые приводят к значительным деформациям выработок: выполаживанию верхняков, выдавливанию в полость сечения боковых ножек, выходу из строя замковых соединений, незначительной реализации податливости крепи. Таким образом, конструктивная модернизация самой крепи и технологии ее установки не может обеспечить существенное повышение устойчивости выработок, снизить затраты на их поддержание.

Наиболее слабым звеном в решении вопросов по повышению эффективности использования прогрессивной технологии анкерного крепления является недостаточная изученность геомеханических процессов вблизи горных выработок.

Условия поддержания выработок с различными видами крепления в зоне влияния очистных работ исследованы на примере конвейерного промежуточного штрека 49к₁₀-3 лавы на шахте им. Костенко угольного департамента акционерного общества «АрселорМиттал Темиртау» (Карагандинская область, Республика Казахстан). Вынимаемая мощность пласта к₁₀ на западном крыле шахты составляет 3,7-4,0 м. Непосредственная кровля изменяется по простиранию от 3 м до 7 м и представлена аргиллитами. Основная кровля сложена слаботрещинистыми песчаниками мощностью 24-32 м. Максимальная величина поддутия почвы после двух лет поддержания выработки составила 0,55 м. Для обеспечения необходимого сечения впереди лавы на расстоянии 50-80 м производилась подрывка штрека на величину от 0,5 до 0,6 м.

На рис. 1 представлено состояние исследуемой выработки в зоне, подверженной влиянию очистных работ. Наиболее благоприятные условия поддержания были обеспечены на участке конвейерного промежуточного штрека 49к₁₀-3 протяженностью 50 м полуарочной формы, закрепленного смешанной крепью (анкеры в сочетании с МРК) с плотностью 1,33 рамы/погонный метр.

Для этого участка выработки характерны следующие изменения в состоянии крепи: деформация верхняка и его порыв (рисунок 1, б, в) по линиям прогонов – 60%; деформация составных стоек (рисунок 1, г) в вертикальной плоскости – 1,5%; отклонение стоек трения от вертикального положения, преимущественно по линии первого от очистного забоя прогона – 70%.

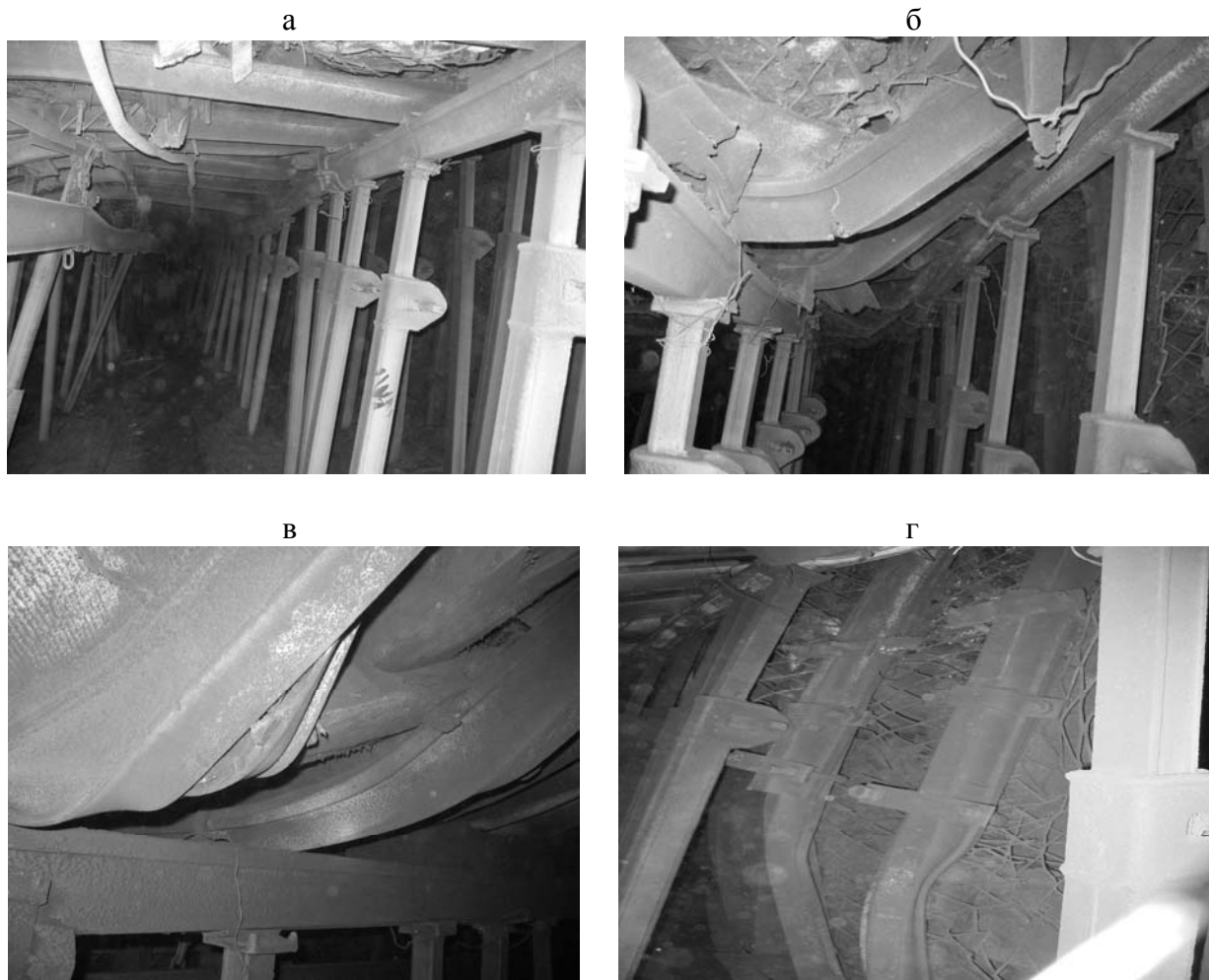


Рис. 1. Состояние конвейерного промежуточного штрека 49к₁₀-3 в зоне влияния очистных работ на шахте им. Костенко угольного департамента акционерного общества «АрселорМиттал Темиртау» (Карагандинская область, Республика Казахстан): а – смешанная крепь, б – деформация верхняка, в – порыв верхняка, г – деформация стоек

В этой связи, исследование особенностей деформирования породного массива, вокруг подготовительных выработок с анкерным креплением при различных углах падения пласта и глубине анкерования, обоснование параметров анкерной крепи и определение рациональной области ее использования, является актуальной задачей горного производства.

Целью исследований является создание технологии интенсивного и безопасного проведения выемочных горных выработок на основе выявленных закономерностей поведения прилегающих к ним массивов горных пород, оптимизации параметров технологических схем подготовительных работ, обеспечивающих повышение эффективности функционирования подземного горного производства. Идея исследований заключается в управлении техногенным напряженно-деформированным состоянием (НДС) для разработки эффективной технологии крепления приконтурного горного массива.

Многообразие горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации выработок и связанного с ними механизма взаимодействия пород и крепи, обусловило появление целого ряда различных геомеханических моделей состояния массива пород вокруг горных выработок. При этом наиболее перспективным в настоящее время является математическое моделирование с использованием ПЭВМ.

В представленных исследованиях аналитическое моделирование выполняется с применением численного метода конечных элементов. Моделирование выполнено для условий пластовой конвейерной выработки пласта к₁₀ шахты им. Костенко УД АО «Арселор Миттал Те-

миртау» при глубине разработки 400 м и мощности пласта 3,8 м. Исследования произведены на математических моделях с использованием программного комплекса *ANSYS* позволяет установить влияние горно-геологических факторов на условия эксплуатации крепей горных выработок.

В программном комплексе *ANSYS* была построена модель массива вмещающих горных пород, соответствующая условиям залегания пласта k_{10} .

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 (σ_y) растут при увеличении угла падения пласта (α) с 10° до 40° по показательной функции диапазоне от 10 до 13,5 МПа. Распределение напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающих горную выработку, представлены на рисунках 2, а и 2, б.

Для прямоугольной формы поперечного сечения выемочной выработки максимальные нормальные напряжения σ_y растут при $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$ от 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 (σ_x) увеличиваются с 49 до 53,4 МПа при $\alpha = 10 - 30^\circ$, а затем резко снижается до 52 МПа при $\alpha = 40^\circ$. Касательные напряжения (τ_{xy}) растут по неярко выраженной показательной функции с 18 до 38 МПа при изменении $\alpha = 10^\circ - 40^\circ$.

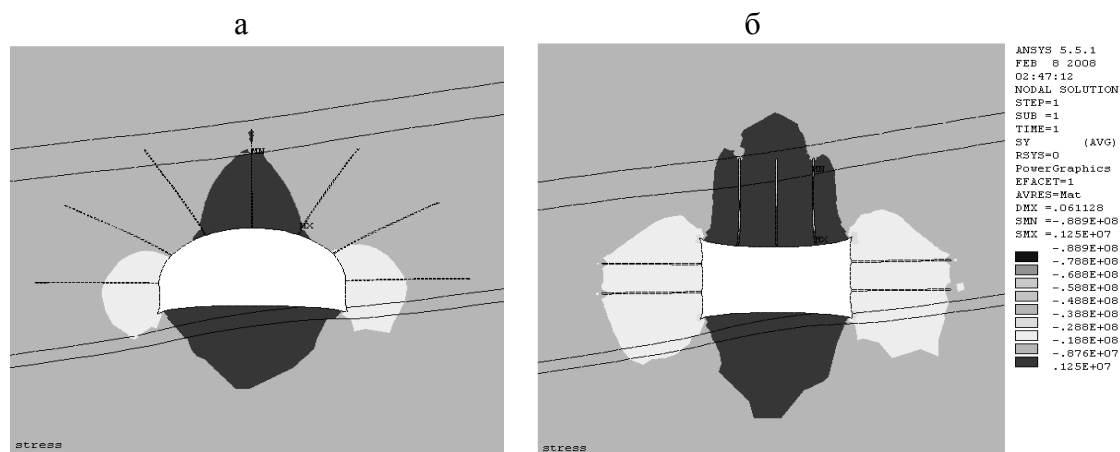


Рис. 2. Распределение максимальных напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающих горную выработку арочной (а) и прямоугольной (б) формы поперечного сечения

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 σ_y выше по величине в 1,5 раза, σ_x наоборот ниже на 2-3 МПа, а τ_{xy} больше в 1,5-2,0 раза [3, 4].

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о предпочтительности применения для условий разработки пласта k_{10} шахты им. Костенко УД АО «Арселор Миттал 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 их анкерирования. Исследования выполнены на примере горной выработки трапециевидной формы поперечного сечения при следующих параметрах расчетной схемы: угол падения пласта

15°, его мощность 3,8 м; глубина разработки 400 м; сечение выработки 15,5 м²; 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. 3, 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).

Закономерности изменения касательных напряжений 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 анкерирования позволили установить характер поведения боковых пород по зонам их расположения [3, 4].

На рис. 3 представлено распределение нормальных и продольных напряжений при слое аргиллита 7,5 м по контуру горной выработки.

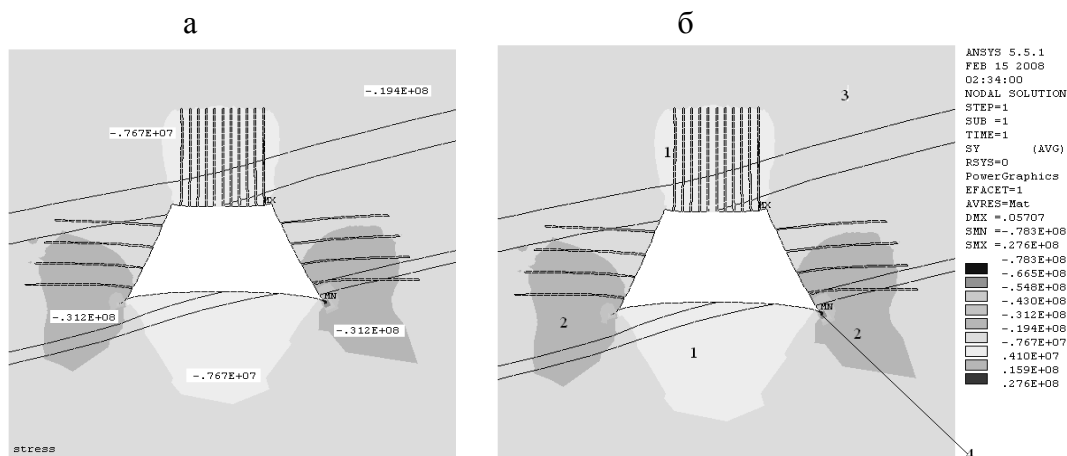


Рис. 3. Распределения нормальных (а) и продольных (б) напряжений: 1 – зона весьма неустойчивая; 2 – зона неустойчивая; 3 – зона неустойчивая; 4 – зона средней устойчивости; в точке минимума зона устойчивая

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. Максимальное значение нормальных напряжений возникает в анкере расположенном на кровле выработки в правом крайнем анкере в месте его закрепления. Максимальное значение продольного напряжения возникает в анкере расположенном на правой боковой поверхности выработки (первый снизу).

Вышеизложенные теоретические и практические рекомендации позволяет сформировать прогрессивные технологические схемы анкерного крепления горных выработок, один из которых представлен ниже.

Способ крепления подготовительной горной выработки. Назначением данного способа является обеспечение производства работ по креплению в зоне с повышенными напряжениями в приконтурных породах, особенно в условиях проведения выработок по выбросоопасным пластам.

Применение предполагаемого способа крепления подготовительной горной выработки позволит заблаговременно крепить породы в зоне повышенного напряженного состояния, чем предотвращаются деформации (уменьшаются на 20-30%) при их обнажении в процессе проведения горной выработки.

Способ крепления подготовительной горной выработки, при котором слои вмещающих пород, крепят анкерами и располагают их под углом к напластованию, отличающийся тем, что анкера располагают вперед направленными в зону с повышенным напряженным состоянием, расположенными углом по фронту проводимой выработки, определяемым по формуле:

$$\beta = \frac{\gamma_m + \gamma_n}{2},$$

где γ_m и γ_n – соответственно, направления действия вертикального и бокового векторов напряжений.

На рис. 4, а изображен продольный вид способа крепления подготовительной горной выработки, а на рис. 4, б – вид в плане.

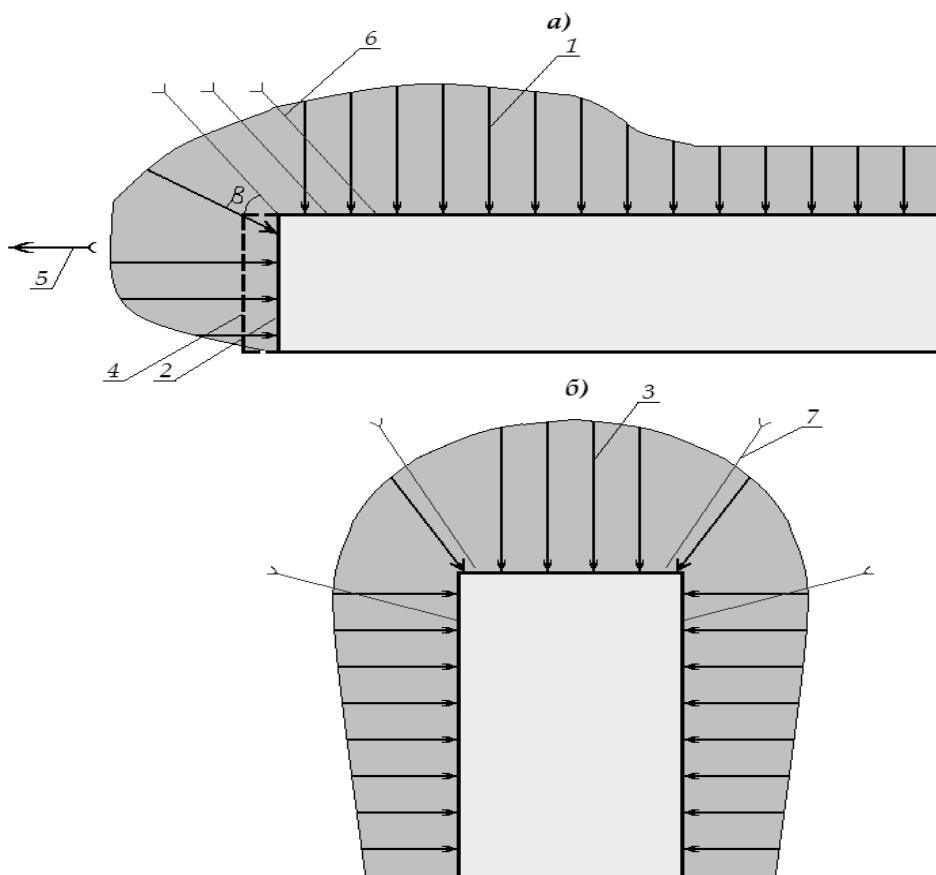


Рис. 4. Способ крепления подготовительных горных выработок:
а – продольный вид горной выработки, б – вид в плане

Зона повышенного опорного горного давления 1 (величиной $1,3-1,5\gamma H$, где γ – плотность вмещающих пород т/м^3 ; H – глубина проведения выработки, м) располагается в кровле и бокам контура выработки и примыкает непосредственно к подвижной плоскости 2 проходческого забоя и ее волна 3 выходит наперед фронта продвижения выработки.

При отбойке очередного цикла 4 горной массы по фронту 5 продвижения выработки в кровле и бока бурят шпурсы и устанавливают соответственно анкера 6 и 7 наперед в зону повышенных напряжений, чем достигается «сшивка» боковых пород в этой зоне. Угол расположения крепежных анкеров составляет β .

Конкретное осуществление этого способа установки передовой крепи представлено на рис. 5.

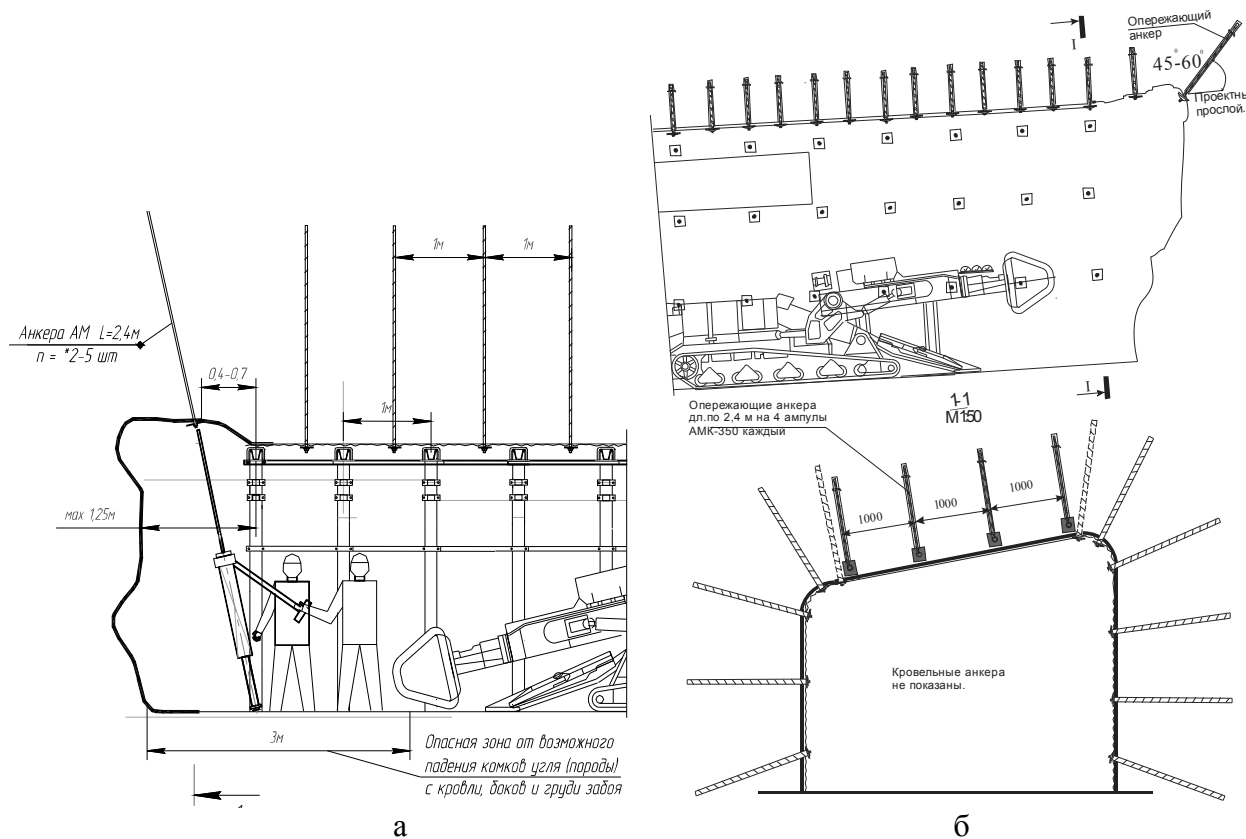


Рис. 5. Паспорт на применение передовой крепи при неустойчивой кровле (шахта «Саранская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»): а – процесс возведения; б – технологическая схема.

При обрушении кровли, следствии нарушения устойчивости вмещающих пород при уходе груди забоя более 0,75 м – при анкерном и 1,25 м – при смешанном креплении, производится установка наклонных сталеполимерных анкеров в кровлю выработки.

Список литературы

1. Демин В.Ф. Исследование характера деформирования боковых пород вокруг горной выработки с анкерным креплением в зависимости от угла падения и глубины анкерирования приконтурного массива / В.Ф. Демин, С.Б. Алиев, К.К. Кушекков и др. // Горный информационный аналитический бюллетень. – № 2. МГГУ. – М. – 2012. – С. 191-203.
2. Демин В.Ф. Влияние угла наклона на напряженно-деформированное состояние массива горных пород вокруг выработки / В.Ф. Демин, В.В. Яворский, Т.В. Демина и др. // «Уголь». – № 11. – 2012. – С. 66-69.
3. Алиев С.Б. Установление параметров анкерного крепления в зависимости от горно-технологических условий эксплуатации выработок / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, Т.В. Демина и др. // «Уголь». – № 1. – 2013. – С. 69-72.
4. Демин В.Ф. Прогнозирование смещений приконтурного массива пород горных выработок / В.Ф. Демин, Н.Б. Бахтыбаев, Т.В. Демина и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – Отдельный выпуск 7. – С. 9-21.