

УДК 622.281(574.32)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМИРОВАНИЯ БОКОВЫХ ПОРОД ВОКРУГ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ С АНКЕРНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ПАДЕНИЯ ПЛАСТА И ГЛУБИНЫ АНКЕРОВАНИЯ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА

¹Демин В.Ф., ²Яворский В.В., ¹Демина Т.В.

¹Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: kstu@kstu.kz;

²Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Исследованы напряженно-деформированное состояние, проявления горного давления, условия поддержания выработок в зависимости от горнотехнических и технологических параметров. Исследования позволили установить степень их влияния разработки на эффективность применения анкерного крепления выемочных выработок и позволят обосновано применять паспорта крепления, обеспечить устойчивость горных выработок и снизить затраты на их проведение и поддержание.

Ключевые слова: массив горных пород, деформирование, анкерование, очистные работы, крепь

STUDY OF THE NATURE OF DEFORMATION OF WALL ROCKS AROUND THE MINE WORKINGS WITH THE ANCHOR DEPENDING ON THE ANGLE OF DIP AND DEPTH BE STRAINED CONTOUR ARRAY

¹Demin V.F., ²Yavorskiy V.V., ¹Demina T.V.

¹Karaganda state industrial university, Karaganda, e-mail: kstu@kstu.kz;

²Karaganda state industrial university, Temirtau, e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

The stress-strain state, rock pressure manifestations, conditions of the maintenance of roadways, depending on the mining and process parameters. Research has allowed to establish the degree of influence of formulation on the efficacy of anchoring Stopes and allow justified to apply passport fastening, to ensure the stability of mine workings and reduce the cost of holding and maintaining.

Keywords: the rock mass, deformation, be strained, sewage treatment works, the lining

Поддержание и увеличение объема подземной добычи угля возможно лишь при наличии высокоэффективной технологии проведения и поддержания подготовительных выработок, обеспечивающей наращивание объемов горно-подготовительных работ.

Целью исследований является создание технологии проведения выемочных горных выработок на основе выявленных закономерностей поведения примыкающих к ним массивов горных пород, оптимизации параметров технологических схем подготовительных работ, обеспечивающих повышение эффективности функционирования подземного горного производства.

При эксплуатации шахт с ростом глубины разработки одной из основных проблем является обеспечение устойчивости горных выработок. Для поддержания выработок на шахтах Карагандинского бассейна применяются в большом объеме металлические податливые крепи арочного типа и в ограниченном объеме – анкерное крепление. Затраты проведение и крепление одного метра выработки с применением арочной крепи составляют 900–1000 долларов США, расход металлопроката составляет 0,3–1,0 т и расходы на поддержание составляют не

менее 10–15% от стоимости проведения. На 1 млн т угля при принятых на практике системах разработки требуется проведение 5,0–5,5 км горных выработок, что требует существенных затрат на подготовку выемочных участков. Наиболее подвержены влиянию горного давления пластовые выработки. Потери площади их поперечного сечения достигают 60–70%, что приводит к тому, что 20% выработок ежегодно ремонтируется и перекрепляется. Доля затрат на проведение, крепление и поддержание выработок достигает 15–20% от себестоимости добычи угля и ремонтом выработок занимаются более 10% подземных рабочих. 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-з лавы на шахте им. Костенко угольного департамента акционерного общества «АрселорМиттал Темиртау» (Карагандин-

ская область, Республика Казахстан). Вынимаемая мощность пласта k_{10} на западном крыле шахты составляет 3,7–4,0 м. Непосредственная кровля изменяется по простиранию от 3 до 7 м и представлена аргиллитами. Основная кровля сложена слаботрециноватыми 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 $49k_{10}$ -з протяженностью 50 м полуарочной формы, закрепленного смешанной крепью (анкеры в сочетании

с МРК) с плотностью 1,33 рамы/погонный метр (рис. 1, а).

Для этого участка выработки характерны следующие изменения в состоянии крепи:

- деформация верхняка и его порыв (рис. 1, б, в) по линиям прогонов – 60 %;
- деформация составных стоек (рис. 1, г) в вертикальной плоскости – 1,5 %;
- отклонение стоек трения от вертикального положения, преимущественно по линии первого от очистного забоя прогона – 70 %.

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.



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Состояние конвейерного промежуточного штрека $49k_{10}$ -з в зоне влияния очистных работ: а) – смешанная крепь; б) – деформация верхняка; в) – порыв верхняка; г) – деформация стоек

В процессе исследований определялось напряженно-деформированное состояние приконтурного массива вокруг горной выработки: кровли, почвы и боков; скорость деформации, зону расслоений (трещинообразования); напряжения (сжатия, растяжения и касательные), смещения от срока службы (в динамике). Рассматривались относительно благоприятные, средние и сложные условия эксплуатации горных выработок.

Для определения условных зон неупругих деформаций использована программа, позволяющая определить напряженно-деформированное состояние в рассматриваемой точке техногенного пространства, а затем установить долговечность объекта (время до разрушения) и оценить устойчивость породного обнажения для последующего принятия технологических мер. Для геомеханической интерпретации результатов моделирования рассматривался конвейерный штрек 64к₁₀-3 сечением 16,2 м² пласта к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау», пройденный на глубине 630–640 м (рис. 2).

В представленных исследованиях аналитическое моделирование выполняется с применением численного метода конечных элементов. Моделирование выполнено для условий пластовой конвейерной вы-

работки пласта к₁₀ шахты «Абайская» УД АО «Арселор Миттал Темиртау» при глубине разработки 400 м и мощности пласта 3,8 м. Рассматривается напряженно-деформированное состояние массива вокруг действующей выемочной выработки. Задача сводится к плоской. Решение осуществлялось в упругой постановке вследствие сравнительно непродолжительного времени деформирования горных пород в окрестности подготовительного забоя при его подвигании. В отличие от известных подходов конкретизируются размеры зон распространения деформаций с анализом их параметров.

Исследования произведены на математических моделях с использованием программно-методического комплекса ANSYS и позволяют 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 к₁₀.

На первом этапе 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.

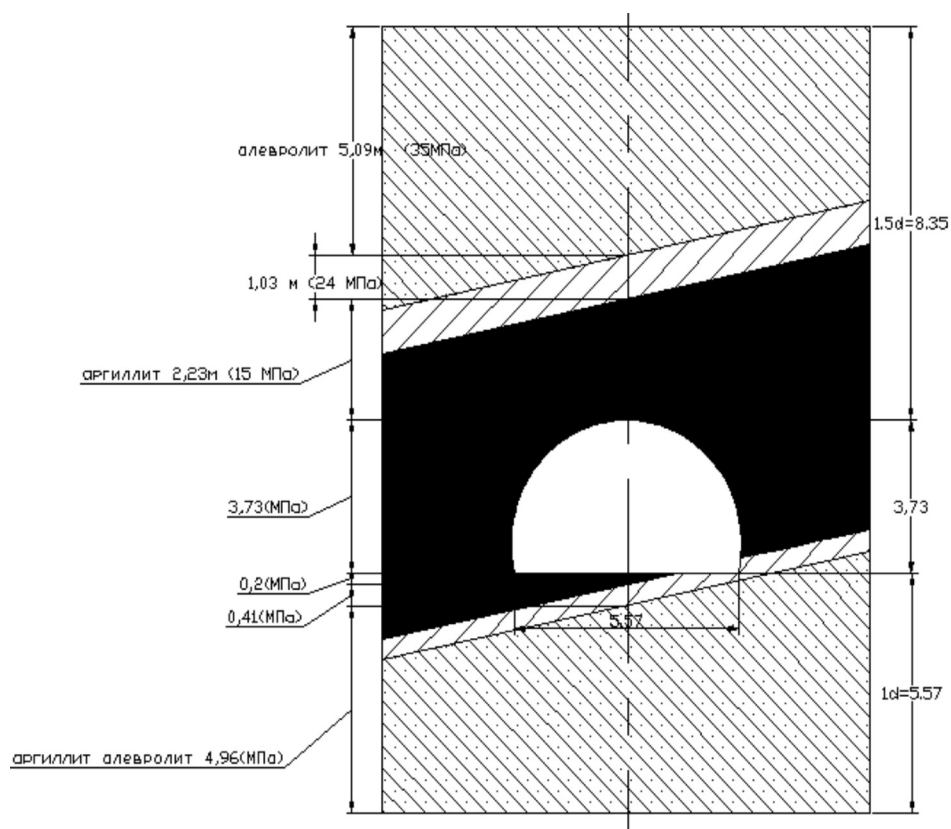


Рис. 2. Структура разреза вмещающих пород по конвейерному штреку 21к₁₂-с шахты «Абайская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

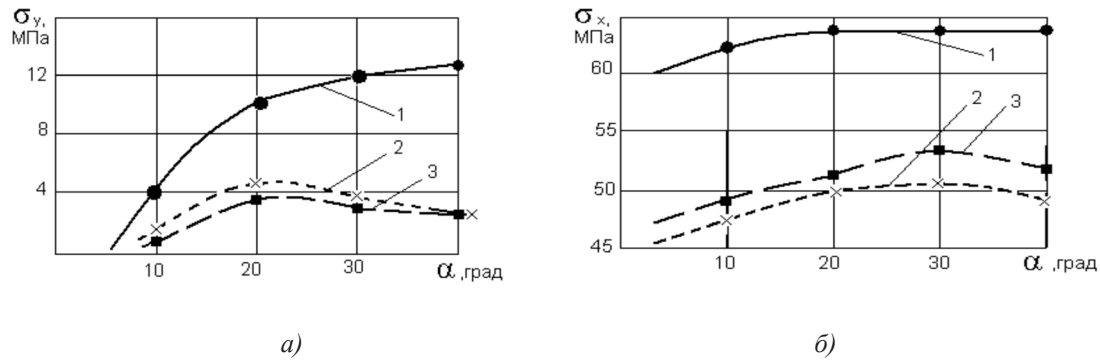


Рис. 3. Влияние вида формы поперечного сечения и угла падения пласта на величину максимальных нормальных (а); продольных (б) напряжений в массиве горных пород при анкерном креплении выработки: 1 – арочная; 2 – полигональная; 3 – прямоугольная

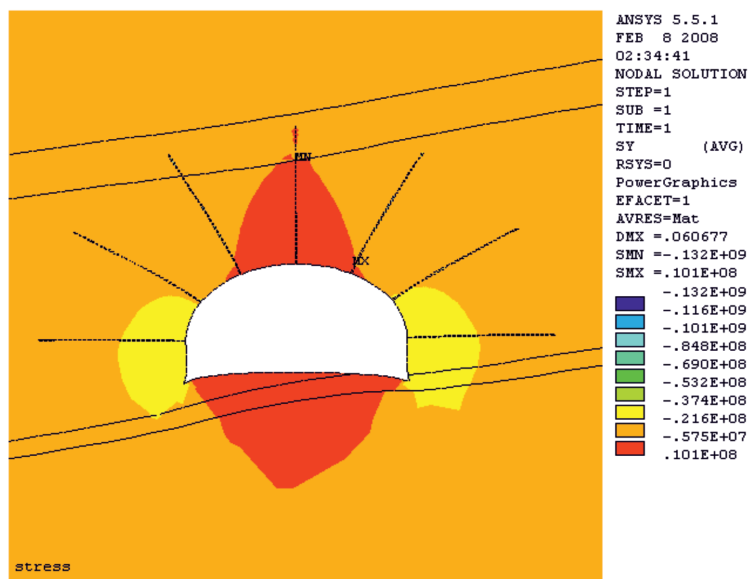
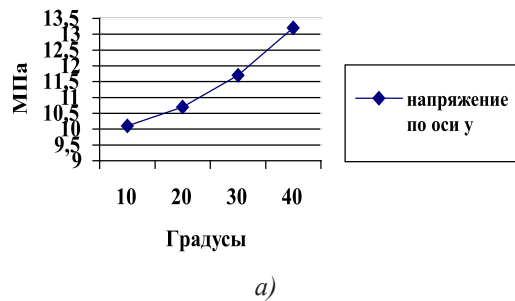


Рис. 4. Распределение максимальных напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающую горную выработку арочной формы поперечного сечения: а и б – характер изменения и эпюра (при $\alpha = 10^\circ$) максимальных продольных напряжений

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 (рис. 3, а). Продольные напряжения (σ_x) увеличиваются при α от 10° до 20° в диапазоне от 63,2 до 64,1 МПа, а за-

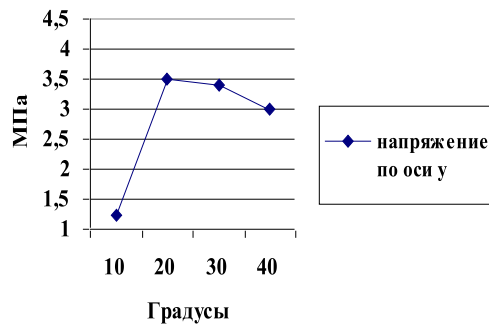
тем влияние угла падения не проявляется (рис. 3, б). Касательные напряжения (τ_{xy}) пропорционально снижается в диапазоне углов падения пласта $\alpha = 10^\circ-30^\circ$ с 50 до 33 МПа, а при $\alpha = 30^\circ-40^\circ$ растут 33 до 37 МПа (рис. 3, в).

Причем большие напряжения возникают по восстанию угольного пласта. Распределение напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающих горную выработку, представлены на рис. 4, а, б.

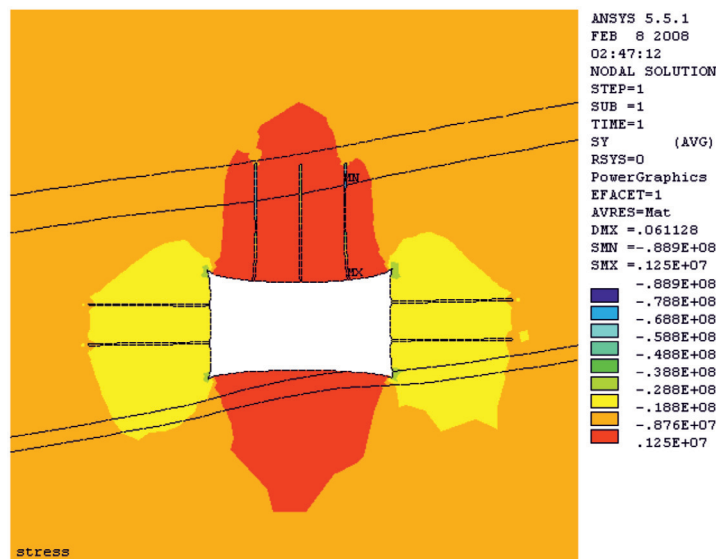
Для прямоугольной формы поперечного сечения выемочной выработки максимальные нормальные напряжения σ_y растут при $\alpha = 10^\circ-20^\circ$ с 1,2 до 3,5 МПа, а затем незначительно падает при $\alpha = 20^\circ-40^\circ$ с 3,5 до 3,0 МПа. Продольные напряжения (σ_x) увеличиваются с 49 до 53,4 МПа при $\alpha = 10^\circ-30^\circ$, а затем резко

снижается до 52 МПа при $\alpha = 40^\circ$. Касательные напряжения (τ_{xy}) растут по неярко выраженной показательной функции с 18 до 38 МПа при изменении $\alpha = 10^\circ-40^\circ$. Значения напряжений в зонах, окружающих горную выработку, представлены на рис. 5, а, б.

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. Изменение и распределение напряжений в зонах, окружающих горную выработку, представлены на рис. 6, а, б.

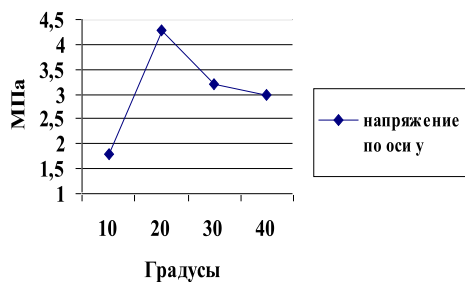


а)

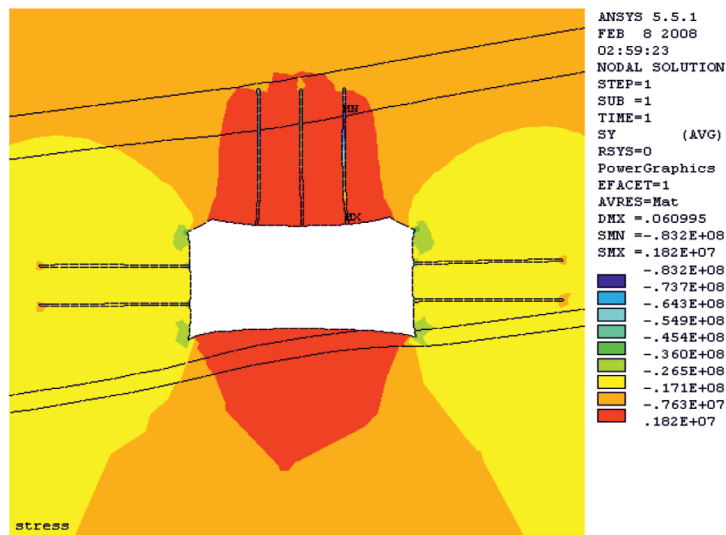


б)

Рис. 5. Значения максимальных напряжений в зонах, окружающих горную выработку прямоугольной формы поперечного сечения: а и б – характер изменения и эпюра (при $\alpha = 10^\circ$) максимальных нормальных напряжений



а)



б)

Рис. 6. Изменение и распределение максимальных напряжений в зонах, окружающих горную выработку: а и б – характер изменения и этюра (при $\alpha = 10^\circ$) максимальных нормальных напряжений

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 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 $15,5 \text{ м}^2$; 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. 7, 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. 7, б.

Закономерности изменения касательных напряжений представлены на (рис. 5, 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.

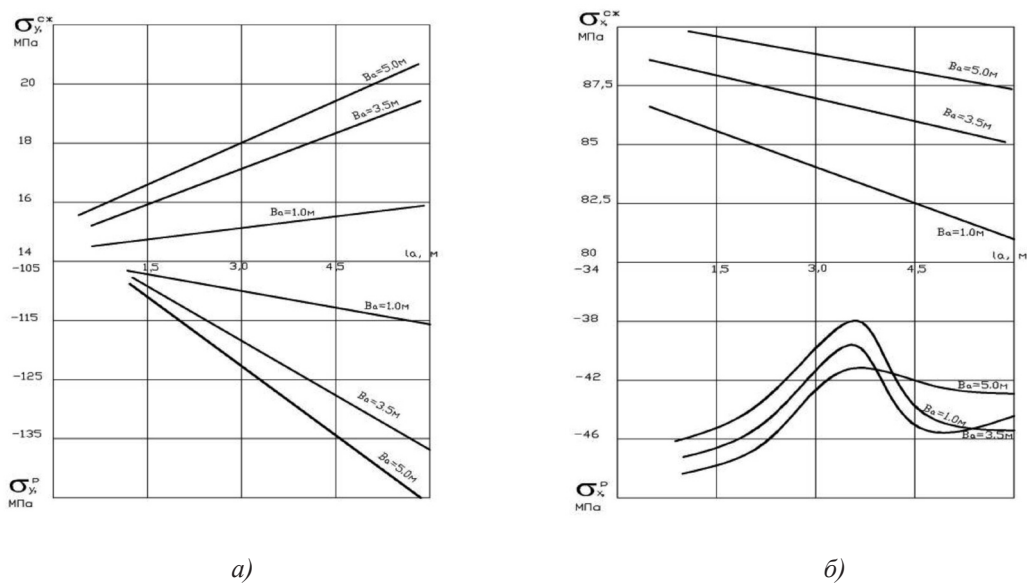


Рис. 7. Изменение нормальных, поперечных в приконтурных горных породах подготовительной выработки в зависимости от длины анкерирования и мощности слоя ослабленных пород

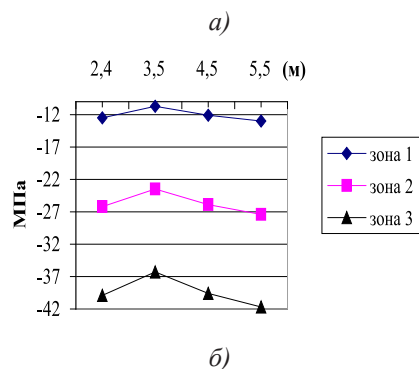
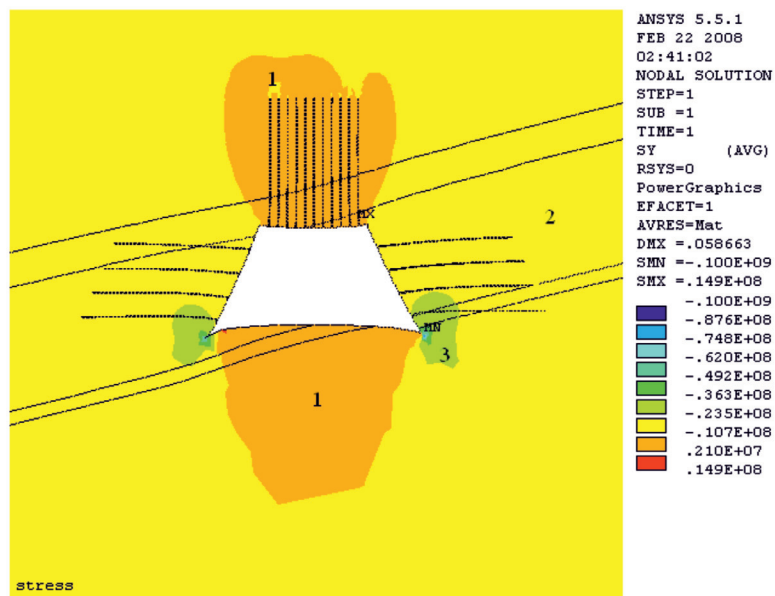


Рис. 8. Эпюра распределения (а) и зависимость изменения нормальных напряжений (б) во вмещающих породах от глубины их анкерирования. Слой аргиллита 1 м, длина анкера $l = 3,5$ м

Проведенные исследования напряженно-деформированного состояния вмещающих пород в зависимости от мощности слоя легкообрушающихся пород при разной длине анкерирования позволили установить следующий характер поведения боковых пород по зонам их расположения (рис. 8, а, б).

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 расположен-

ном на правой боковой поверхности выработки (первый снизу).

Выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния угля породных массивов (смещений, напряжений, зон трещинообразования) в зависимости от основных горно-геологических и горнотехнических факторов позволят в конкретных условиях эксплуатации устанавливать оптимальные параметры крепления для повышения устойчивости подготовительных горных выработок. Это позволит разрабатывать новые и совершенствовать существующие технологии эффективного и безопасного крепления приконтурных пород при проведении горных выработок на пологих и наклонных угольных пластах, адаптивные к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям эксплуатации.