

**В.Ф. Демин, Т.В. Демина, Ю.Ю. Стефлюк,  
А.Д. Каратаев, И.А. Грачев**

## **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ВЫРАБОТКИ, ЗАКРЕПЛЕННОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ**

*Исследованы напряженно-деформированное состояние, проявления горного давления, условия поддержания выработок в зависимости от горнотехнических и технологических параметров. Моделировалось напряженно-деформированное состояние приконтурного массива горных пород вокруг выработки с изменением длины и диаметра анкерной крепи. Изучено влияние длины анкера на характер изменения напряжений в массиве. На касательные напряжения длина анкера не оказывает существенного влияния, а вертикальные и продольные напряжения растут по не ярко выраженной зависимости с увеличением длины анкера. С изменением диаметра анкера вертикальные и продольные напряжения растут, а касательные напряжения уменьшаются близко к линейной зависимости. Проведенные исследования позволили установить степень влияния технологических факторов разработки на эффективность применения анкерного крепления выемочных выработок. Ключевые слова: аналитическое моделирование, напряженно-деформированное состояние, технология, приконтурный массив горных пород, крепление горных выработок.*

---

**П**ри эксплуатации шахт с ростом глубины разработки одной из проблем, требующей решения, является обеспечение устойчивости горных выработок. Для поддержания выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна применяются металлические податливые крепи арочного типа и в небольшом объеме анкерное крепление. Затраты проведение и крепление 1 м выработки с применением арочной крепи составляют 12–15 тыс. руб., расход металлопроката 0,3–1,0 т. При этом расходы на поддержание составляют не менее 10–15% от затрат на проведение. 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%. Это 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. Ремонт выработок занимается более 10% подземных рабочих.

Опыт применения профилей большего типоразмера и увеличения плотности установки крепи 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 значи-

тельными деформациям выработок: выколаживанию верхняков, выдавливаю в полость сечения боковых ножек, выходу из строя замковых соединений, незначительной реализации податливости крепи.

Одним из основных направлений технического прогресса в области крепления и поддержания горных выработок является применение ресурсосберегающей технологии проведения подготовительных выработок с использованием анкерного крепления с преимуществом прямоугольного поперечного сечения, в том числе в сочетании с металлической арочной крепью.

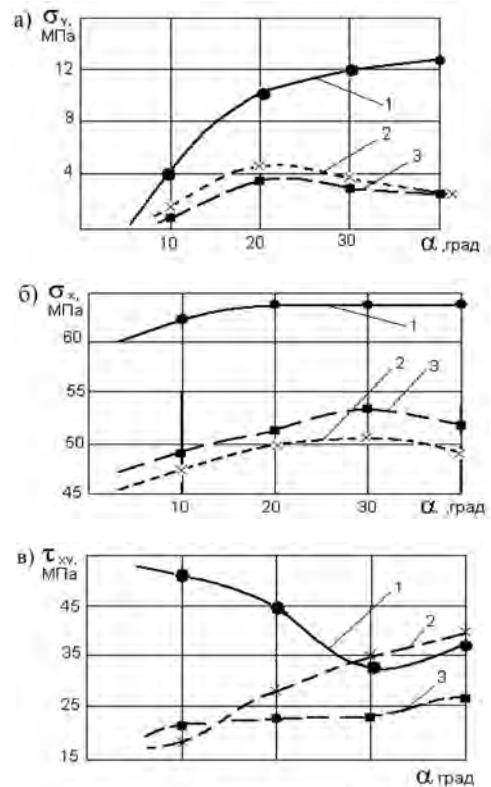
Проведение горной выработки нарушает равновесное состояние пород и приводит к перераспределению напряжений в окружающем ее массиве, причем интенсивность напряжений на контуре выработки намного выше, чем в нарушенном массиве. Повышенные напряжения на контуре выработки приводят к образованию вокруг нее зоны неупругих деформаций. Структура зоны и характер деформирования пород в ней зависит от глубины заложения выработки, типа пород и их физико-механических и технологических свойств, размера выработки, типа и характеристики крепи, угла залегания вмещающих пород.

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 пласто-

вой конвейерной выработки пласта к 10 шахты «Абайская» Карагандинского угольного бассейна при глубине разработки 500 м и мощности пласта 3,8 м. Рассматривается напряженно-деформированное состояние массива вокруг действующей выемочной выработки. Решение осуществляется в упругой постановке вследствие сравнительно непродолжительного времени деформирования горных пород в окрестности подготовительного забоя при его подвигании.

Исследования произведены на математических моделях с использованием



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

программного комплекса ANSYS позволяет установить влияние горно-геологических факторов на условия эксплуатации крепей горных выработок.

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

Причем большие напряжения возникают по восстанию угольного пласта. Распределение напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающих горную выработку, представлены на рис. 2, а и 2, б.

Для прямоугольной формы поперечного сечения выемочной выработки максимальные нормальные напряжения  $\sigma_y$  растут при  $\alpha = 10-20^\circ$  с  $1,2$  до  $3,5$  МПа, а затем незначительно падает при  $\alpha = 20-40^\circ$  с  $3,5$  до  $3,0$  МПа. Продольные напряжения ( $\sigma_x$ ) 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 ( $\tau_{xy}$ ) растут по неярко выраженной показательной функции с  $18$  до  $38$  МПа при изменении  $\alpha = 10-40^\circ$ . Значения напряжений в зонах, окружающих горную выработку, представлены на рис. 3, а и 3, б.

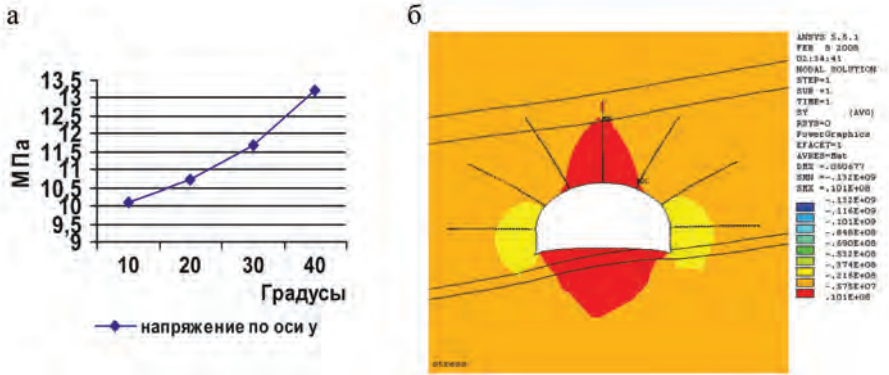
При полигональной форме сечения горной выработки тенденции измене-

ния напряженно-деформированного состояния 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. Изменение и распределение напряжений в зонах, окружающих горную выработку, представлены на рис. 4, а и 4, б.

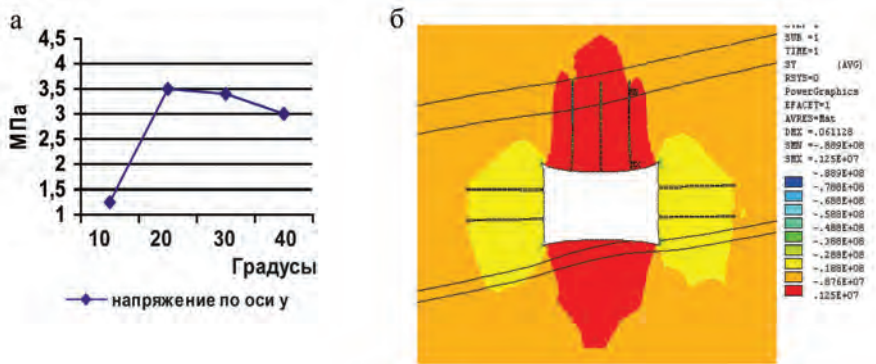
Проведенные исследования позволяют сделать вывод о предпочтительности применения для условий разработки пласта К10 шахты «Абайская» Карагандинского угольного бассейна прямоугольной формы сечения выемочных выработок с анкерным креплением вмещающих пород.

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  $15^\circ$ , его мощность  $3,8$  м; глубина разработки  $400$  м; сечение выработки  $15,5$  м<sup>2</sup>; диаметр анкера  $0,022$  м.

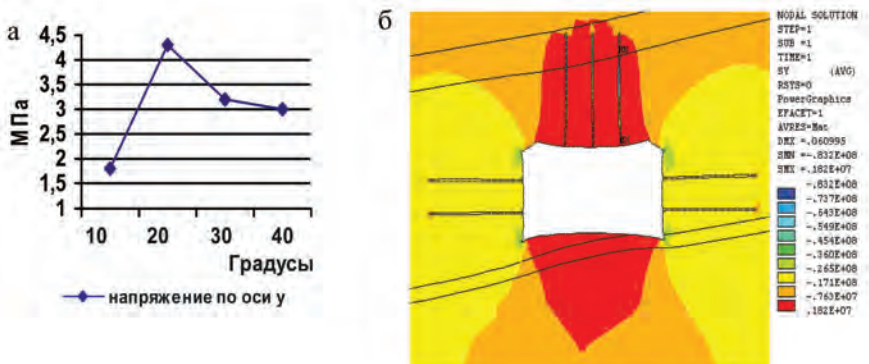
Исследован характер изменения и распределения напряжений в кровле, почве и боках выработки. При величине слоя легкообрушающихся пород от  $1,03$  до  $6,0$  м и длине анкера от  $2,4$  до  $5,0$  м происходят следующие изменения напряжений вокруг выработки. Максимальные и минимальные нормальные напряжения 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. 5, а). Изменения напряжений в рассматриваемом диапазоне в продольной плоскости с ростом длины



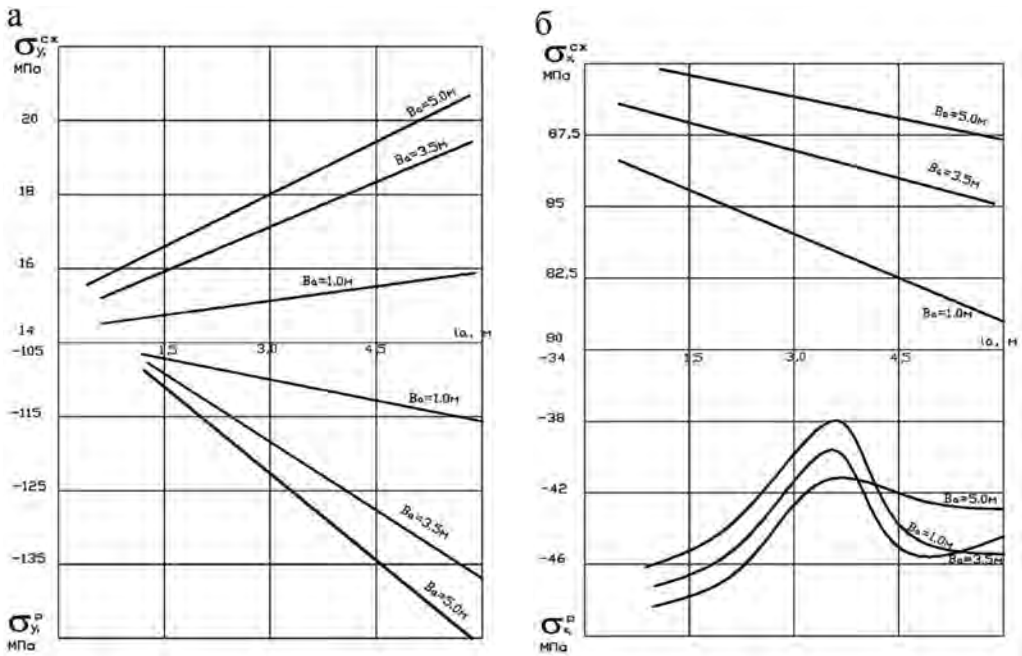
**Рис. 2. Распределение максимальных напряжений в зонах вмещающих боковых пород, окружающих горную выработку арочной формы поперечного сечения:** а) и б) – характер изменения и эпюра (при  $\alpha = 10^\circ$ ) максимальных продольных напряжений



**Рис. 3. 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



**Рис. 4. Изменение и распределение максимальных напряжений в зонах, окружающих горную выработку полигональной формы поперечного сечения:** а) и б) – характер изменения и эпюра (при  $\alpha = 10^\circ$ ) максимальных нормальных напряжений



**Рис. 5. Изменение нормальных, поперечных и касательных напряжений в приконтурных горных породах подготовительной выработки в зависимости от длины анкерирования и мощности слоя ослабленных пород**

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. 5, б.

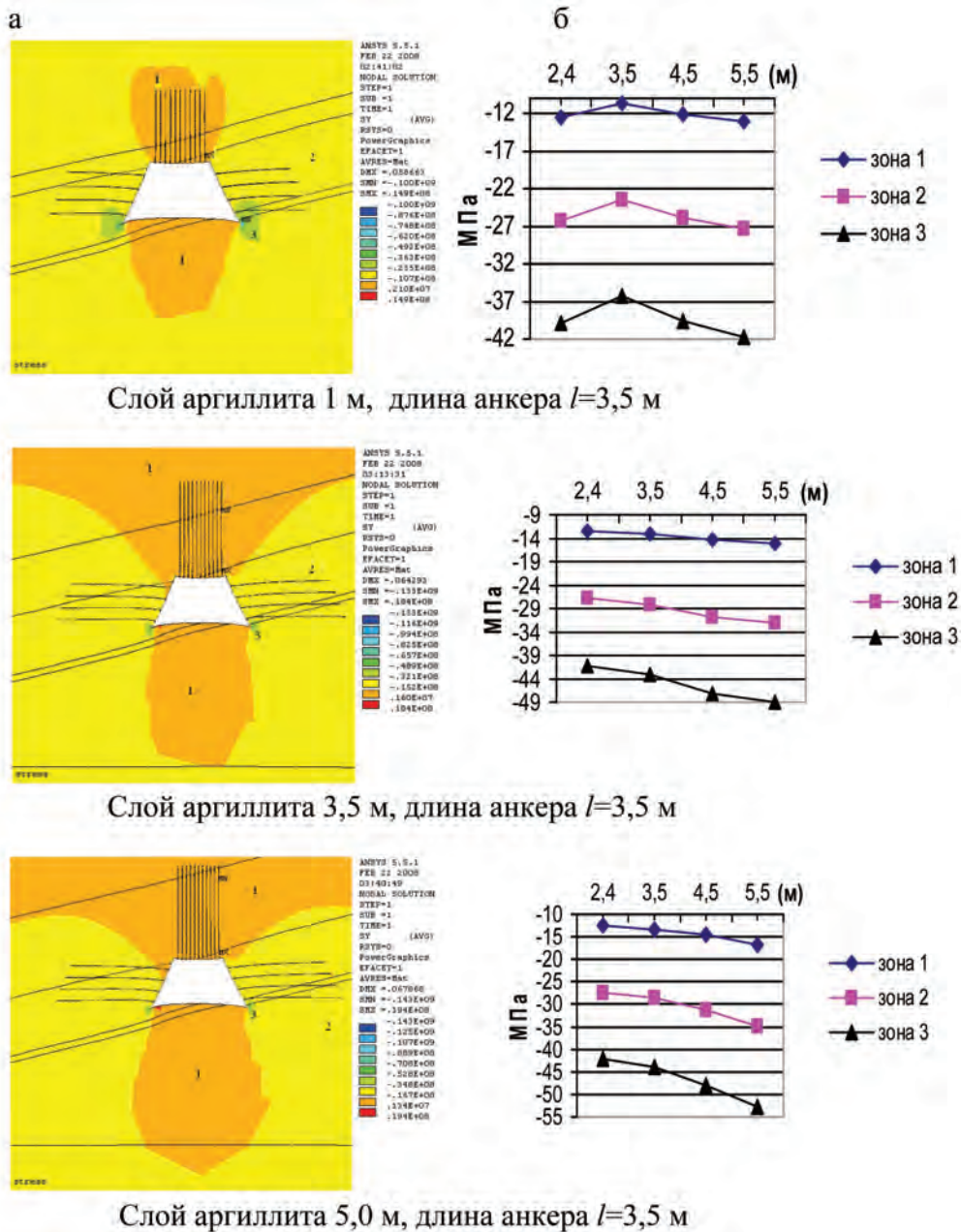
Проведенные исследования напряженно-деформированного состояния вмещающих пород в зависимости от мощности слоя легкообрушающихся пород при разной длине анкерирования позволили установить следующий характер поведения боковых пород по зонам их расположения (рис. 6, а, б).

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 м, при его диаметре 0,05 м.

На рис. 7 представлено распределение нормальных и 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. 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).

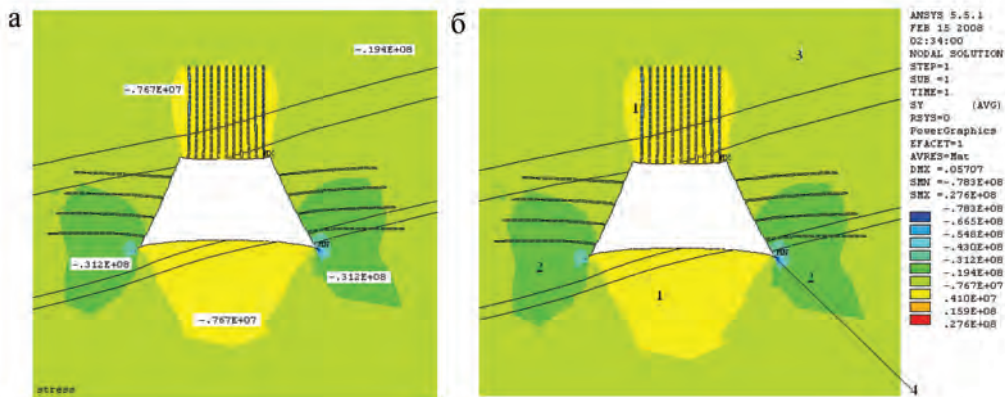
Выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния угля породных массивов (смещений, напряжений, зон тре-



**Рис. 6. Эпюры распределения (а) и зависимость изменения нормальных напряжений (б) во вмещающих породах от глубины их анкерирования**

шинообразования) 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



**Рис. 8. Распределения нормальных (а) и продольных (б) напряжений при слое аргиллита 7,5 м: 1 – зона весьма неустойчивая; 2 – зона неустойчивая; 3 – зона неустойчивая; 4 – зона средней устойчивости; в точке минимума зона устойчивая**

новые и совершенствовать существующие технологии эффективного и безопасного крепления приконтурных пород при проведении горных разрабо-

ток на пологих и наклонных угольных пластах, адаптивные к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям эксплуатации.

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Демин Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор,  
 Демина Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, старший преподаватель,  
 Стефлюк Юрий Юрьевич – магистр, докторант,  
 Каратаев Айбулат Дулатович – магистр, докторант,  
 Грачев Илья Александрович – магистрант,  
 Карагандинский государственный технический университет, e-mail: kargtu@kstu.kz.

UDC 622.281(574.32)

## ASSESSMENT OF STRESSES AND STRAINS IN ROCKS AROUND AN EXCAVATION WITH ROCK BOLTING SUPPORT

Demin V.F.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
 Demina T.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,  
 Steflyuk Yu.Yu.<sup>1</sup>, Master, Doctoral Candidate,  
 Karataev A.D.<sup>1</sup>, магистр, Doctoral Candidate,  
 Grachev I.A.<sup>1</sup>, Master's Degree Student,  
<sup>1</sup> Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: kargtu@kstu.kz.

The analysis involves stresses and strains, events due to rock pressure and excavation support conditions depending on engineering and process parameters of mines. Stress and strain state of rock mass surrounding an excavation was modeled with varying length and diameter of rock bolts. The influence of the rock bolt length on the behavior of stresses in rocks is studied. Shear stresses experience no considerable effect of the rock bolt length, and the growth of vertical and axial stresses is lightly conditioned by the elongation of rock bolts. With the change in the diameter of rock bolts, the vertical and axial stresses grow while the shear stresses decrease in accord with almost a linear relationship. The research has shown the level of influence exerted by mine technological factors on the efficiency of rock bolting in underground excavations.

Key words: analytical modeling, the stress-strain state of the technology, the marginal rock mass, fixing mine workings.