

УДК 622.831

А.А. Козырев, С.Н. Савченко

Об управлении напряженно-деформированным состоянием массива горных пород при проходке горных выработок в удароопасных условиях

A.A. Kozyrev, S.N. Savchenko

On control of stressed-deformed behaviour of rock mass at roadheading under rockburst hazardous conditions

Аннотация. Рассмотрено решение задачи методом конечных элементов в объемной постановке об изменении напряженно-деформированного состояния массива пород в призабойной зоне при образовании разгрузочных щелей в кровле выработки на различных расстояниях от забоя. Даны рекомендации по управлению напряженно-деформированным состоянием массива пород в кровле и забое выработки за счет создания разгрузочных щелей в зависимости от уровня исходного поля напряжений в нетронутым массиве.

Abstract. By the 3D finite elements method the problem has been considered for the case of changing stressed-deformed behaviour of rock mass in the near-excavation zone with relief slots forming in the roof differentially remote from the face. The recommendations have been given for control over the rock mass stressed-deformed behaviour in the roof and face of the drift by making relief slots depending on the level of initial stress field in the intact massif.

Ключевые слова: разгрузочная щель, напряженно-деформированное состояние пород, удароопасные условия
Key words: relief slot, stress strain state of rocks, rockburst hazardous conditions

1. Введение

При проведении выработки в высоконапряженном скальном массиве возникает опасность динамических проявлений горного давления в различных ее элементах в виде стреляния, микроударов и горных ударов (Козырев, 2011). Наиболее эффективным средством снижения напряжений в приконтурном массиве является создание специальных разгрузочных щелей, располагаемых в кровле или стенках выработок в зависимости от вида напряженного состояния пород в нетронутым массиве (Козырев и др., 2002). В большинстве работ, выполненных в этом направлении, рассматривается плоский случай, т.е. решение дается для поперечного сечения, далеко отстоящего от призабойной зоны, в которой, как правило, и осуществляются основные технологические процессы при проходке выработок. Вопросы влияния разгрузочных щелей в призабойной зоне выработок, выбора рациональных схем их расположения, наиболее полно соответствующих исходному напряженному состоянию массива пород, остаются малоизученными.

2. Постановка задачи

Нами в объемной постановке методов конечных элементов решена задача о распределении напряжений в призабойной зоне одиночной горной выработки при различных схемах образования щели в кровле*. Схема модели и условия ее нагружения показаны на рис. 1. Отношение ширины выработки B к ее высоте H принято равным 1. Отношение приложенных к граням модели напряжений задавалось следующее $\sigma_x^0 : \sigma_y^0 : \sigma_z^0 = 1 : 0,3 : 0,3$. Рассмотрено три варианта образования полой щели: 1) с отставанием щели от забоя на величину, равную B ; 2) с образованием щели до уровня забоя выработки; 3) с опережением щели относительно плоскости забоя на величину $0,5B$. Глубина щели для всех вариантов оставалась постоянной $l = 0,5B$.

3. Результаты расчетов

На рис. 2 представлены изолинии напряжений σ_x в плоскости YZ при $X = 0$ в случае, когда выработка проходится без щели, наибольшая концентрация напряжений σ_x наблюдается в кровле

* Задача решена совместно с В.А. Мальцевым.

(рис. 2а), изменяясь от $2,0\sigma_x^0$ на расстоянии $\approx 2B$ от забоя выработки до $1,5\sigma_x^0$ у забоя. В центре забоя концентрация напряжений σ_x составляет $\approx 1,2\sigma_x^0$, увеличиваясь при приближении к сопряжению с кровлей выработки до $1,5\sigma_x^0$ и более. При удалении от забоя в массив (в направлении оси Z) напряжения σ_x быстро уменьшаются, достигая величины $1,05\sigma_x^0$ на удалении $Z \approx B$.

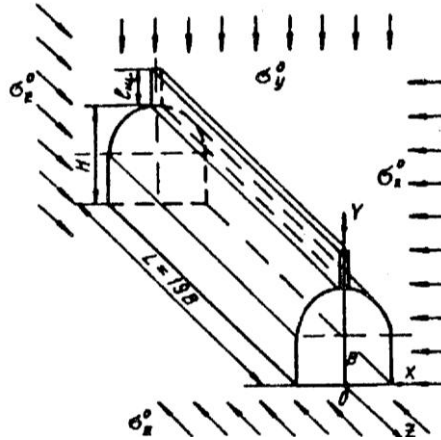


Рис. 1. Расчетная схема и условия нагружения модели

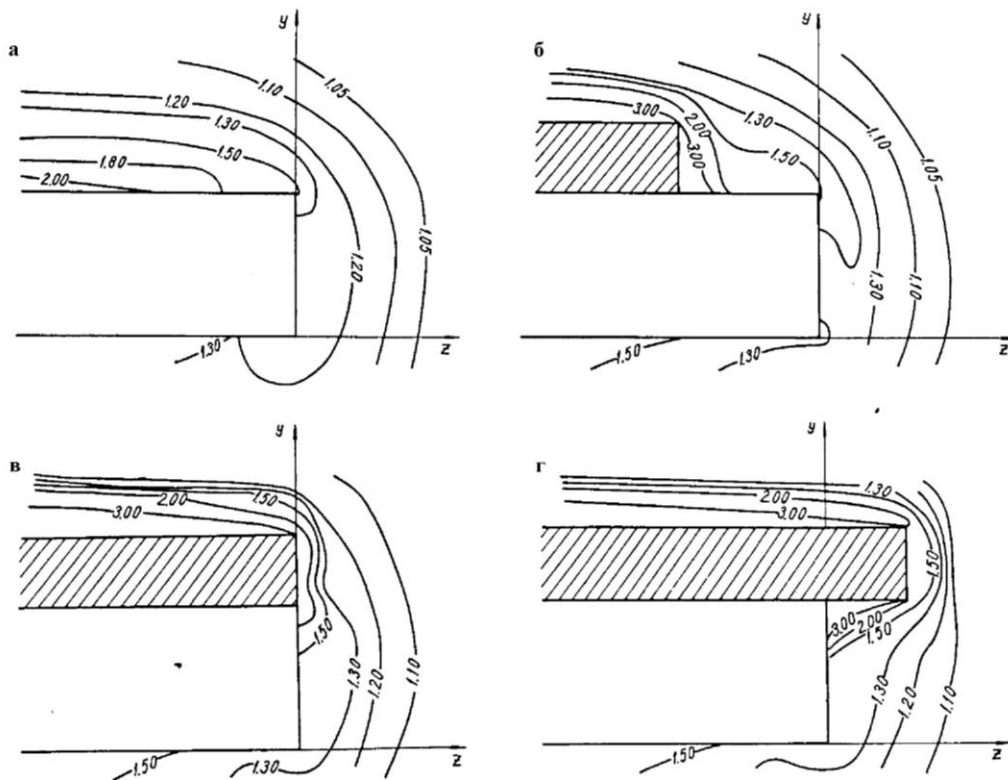


Рис. 2. Распределение напряжений σ_x в плоскости YZ при $X = 0$:

- а – при отсутствии щели в кровле; б – при отставании щели от забоя на расстояние, равное B ;
- в – при положении щели на одном уровне с плоскостью забоя; г – при опережении забоя щелью на расстояние, равное $B/2$

При создании в кровле выработки щели с отставанием ее от забоя на величину B существенно пригружается кровля в призабойной зоне (рис. 2б). Непосредственно в прилегающей к щели зоне коэффициент концентрации напряжения σ_x возрастает с 2,0 до $(3,0 \div 3,5)\sigma_x^0$. Образование щели также приводит к увеличению напряжений на забое выработки, например, в центре – с 1,2 до $1,3\sigma_x^0$.

Если щель создается до забоя выработки (рис. 2в), то наряду с разгрузкой кровли в призабойной зоне происходит значительное увеличение напряжений непосредственно на забое до $1,4\sigma_x^0$ в центре и до $2\sigma_x^0$ у сопряжения забоя с кровлей.

При опережении забоя щелью на величину $0,5B$ происходит дальнейший рост напряжений σ_x на забое (рис. 2г). Коэффициент концентрации σ_x в верхней части забоя превышает 1,5, увеличиваясь непосредственно под щелью до значений >3 .

Рассмотрим более подробно распределение напряжений σ_x и дополнительно σ_z в непосредственной близости от забоя при $Z = 0,075B$ в плоскости XU . В варианте без щели вблизи забоя выработки формируются две зоны повышенных напряжений σ_x (рис. 3а): у сопряжений плоскости забоя с кровлей ($>1,4\sigma_x^0$) и у сопряжений плоскости забоя со стенкой ($>1,5\sigma_x^0$). В центре забоя коэффициент концентрации σ_x составляет $\approx 1,2$.

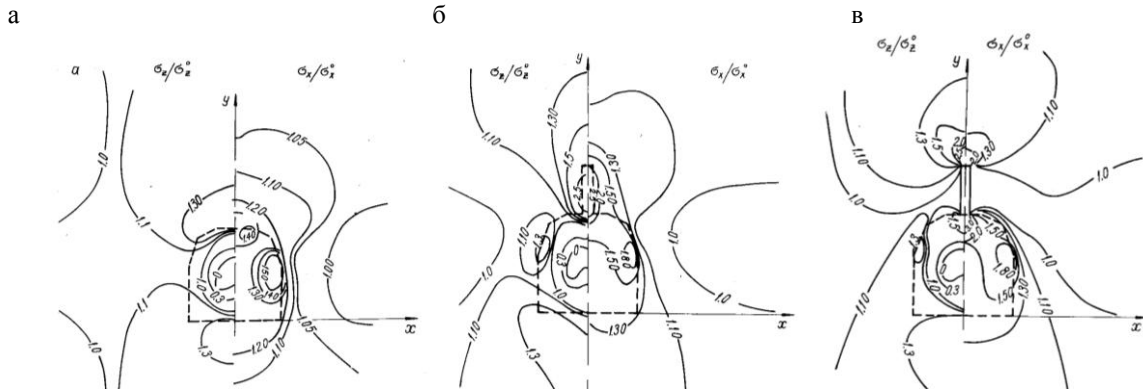


Рис. 3. Распределение напряжений σ_x и σ_z вблизи забоя ($z = 0,075B$): а – при отсутствии разгрузочной щели в кровле; б – при положении щели на одном уровне с плоскостью забоя; в – при опережении забоя щелью на $B/2$

От напряжений σ_z центр забоя полностью разгружен, и лишь начиная с $l \approx (0,7 \div 0,8)B$ от центра, напряжения σ_z превышают σ_z^0 . У края забоя в направлении оси X σ_z достигают $1,1 \div 1,2\sigma_z^0$, а в кровле и почве – $1,3 \div 1,5\sigma_z^0$.

При создании в кровле выработки щели, отстающей от забоя на величину B , забой практически не нагружается. Максимальное увеличение концентрации σ_x происходит у сопряжения плоскости забоя с кровлей и не превышает 3 %.

Создание щели до забоя выработки существенно пригружает участок у сопряжения забоя с кровлей до $\sigma_x > (2,0 \div 2,5)\sigma_x^0$ (рис. 3б). Увеличивается также концентрация в кровле до $2\sigma_x^0$ на высоту до $0,3B$. В центре забоя напряжения σ_x превышают $1,35\sigma_x^0$, а у сопряжения забоя со стенкой $\sigma_x > 1,8\sigma_x^0$. Напряжения σ_z в центре забоя практически не изменяются по сравнению с исходным вариантом. Однако у края забоя появляется зона с повышенными напряжениями до $1,3\sigma_z^0$. Наибольшие изменения σ_z происходят непосредственно вблизи щели, где σ_z увеличивается до $2-3\sigma_z^0$.

Если щель опережает забой, то напряжения σ_x у сопряжения с кровлей непосредственно под щелью превышает $3\sigma_x^0$ (рис. 3в). В центре забоя напряжения σ_x достигают величины $1,4\sigma_x^0$, возрастают напряжения σ_x и у сопряжения забоя со стенкой до $1,8\sigma_x^0$.

Однако непосредственно в кровле по высоте щели напряжения изменяются от $0,35$ до $1,0\sigma_x^0$. Максимум концентрации напряжений смещается в конец щели и составляет в локальной зоне $2,0-2,3\sigma_x^0$. Напряжения σ_z , также как и σ_x , имеют наибольшую концентрацию непосредственно под щелью и превышают $3\sigma_z^0$. На остальной части забоя существенных изменений не происходит.

4. Заключение

Из представленных результатов видно, что, если напряжения в нетронутом массиве вызывают разрушения в кровле выработки только на удалении от забоя (на расстоянии более чем $2B$ от забоя), где достигается максимальный коэффициент концентрации напряжений, то разгрузочная щель может создаваться в кровле с отставанием от забоя. Однако следует учитывать, что на участке кровли перед щелью на расстояние до $0,5l_{щ}\sigma_z^0$ концентрация напряжений может достигать $3,5\sigma_x^0$. На этом участке возможно проявление динамических форм горного давления. В том случае, когда напряжения в массиве достаточны для реализации разрушений и в призабойной зоне выработки, щель для разгрузки кровли

может создаваться как до плоскости забоя, так и с опережением забоя. Образуя щель с опережением забоя, достигают более эффективной разгрузки кровли выработки на высоту щели вблизи забоя, но одновременно с этим существенно пригружается забой выработки, особенно в верхней части. Наиболее рациональным вариантом является тот, при котором щель постоянно поддерживается вровень с забоем, причем в кровле щель следует создавать одновременно с подвиганием забоя. В этом случае достигается наибольшая разгрузка кровли при незначительной пригрузке забоя в локальной зоне вблизи сопряжения с кровлей выработки.

Литература

Козырев А.А. Геомеханическое обоснование безопасной отработки месторождений в удароопасных условиях. *Проблемы и тенденции рационального и безопасного освоения георесурсов. Апатиты, СПб.*, с. 251-264, 2011.

Козырев А.А., Панин В.И., Савченко С.Н. и др. Сейсмичность при горных работах. *Под ред. Н.Н. Мельникова. Апатиты, КНЦ РАН*, 326 с., 2002.

References

Kozyrev A.A. Geomekhanicheskoe obosnovanie otrabotki mestorozhdenii v udaroopasnykh usloviyakh [Rock mechanic substantiation of deposits' safe mining under rockburst hazardous conditions]. *Problemy i tendentsii ratsionalnogo i bezopasnogo osvoeniya georesursov. Apatity, SPb.*, p. 251-264, 2011.

Kozyrev A.A., Panin V.I., Savchenko S.N. i dr. Seysmichnost pri gorniyh rabotah [Seismicity in mining operations]. *Pod red. N.N. Melnikova. Apatity, KNTs RAN*, 326 p., 2002.

Информация об авторах

Козырев Анатолий Александрович – Горный институт (ГоИ) КНЦ РАН, д-р техн. наук, зам. директора по научной работе, профессор, e-mail: kozar@goi.kolasc.net.ru

Kozyrev A.A. – Mining Institute KSC RAS, Dr of Tech. Sci., Deputy Director (Research), Professor, e-mail: kozar@goi.kolasc.net.ru

Савченко Степан Николаевич – Горный институт (ГоИ) КНЦ РАН, д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник, e-mail: savc@goi.kolasc.net.ru

Savchenko S.N. – Mining Institute KSC RAS, Dr of Tech. Sci., Leading Researcher, e-mail: savc@goi.kolasc.net.ru