

*Бакиров Гайрат Холикбердиевич  
старший преподаватель, кафедра "Горное дело",  
Алмалыкский филиал, Ташкентский государственный  
технический университет имени Ислама Каримова; Узбекистан, город  
Алмалык*

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВОКРУГ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются способы управления горным давлением, распределения напряжений вокруг выработанного пространства, формирующиеся в земной коре напряжения (напряжённое состояние), прогнозировать поведение вмещающих пород;

**Ключевые слова:** напряжённое состояние, горным давлением, подземного сооружения.

*Bakirov Gayrat Kholikberdievich  
Senior Lecturer, Department of Mining,  
Almalyk branch, Tashkent State Technical University named after  
Islam Karimov; Uzbekistan, the city of Almalyk.*

## **VOLTAGE DISTRIBUTION AROUND THE PRODUCED SPACE**

**Abstract:** *This article examines the methods of rock pressure control, stress distribution around the goaf, stress forming in the earth's crust (stress state), predicting the behavior of the enclosing rocks;*

**Key words:** *stress state, rock pressure, underground structures.*

При образовании в массиве горных пород выработок (полостей) вокруг них происходит перераспределение первоначальных напряжений, которые были в массиве до образования выработок. Напряжения в различных местах выработки будут неодинаковыми и они зависят от ее формы и тензора первоначальных напряжений. Отношение фактических напряжений к первоначальным определяет коэффициент их концентрации.

Поэтому, зная коэффициенты концентрации вокруг любых выработок и первоначальные напряжения массива горных пород, можно определять фактические напряжения искомой точки массива или элемента конструкции подземного сооружения.

Поскольку рудные тела представлены от горизонтальных до крутых и при их разработке образуется выработанное пространство как с выходом на земную поверхность, так и без выхода, вокруг него из-за перераспределения первоначальных напряжений создается их концентрация. По коэффициентам концентрации, первоначальным напряжением и прочностным свойствам горных пород можно прогнозировать устойчивость элементов систем разработки.

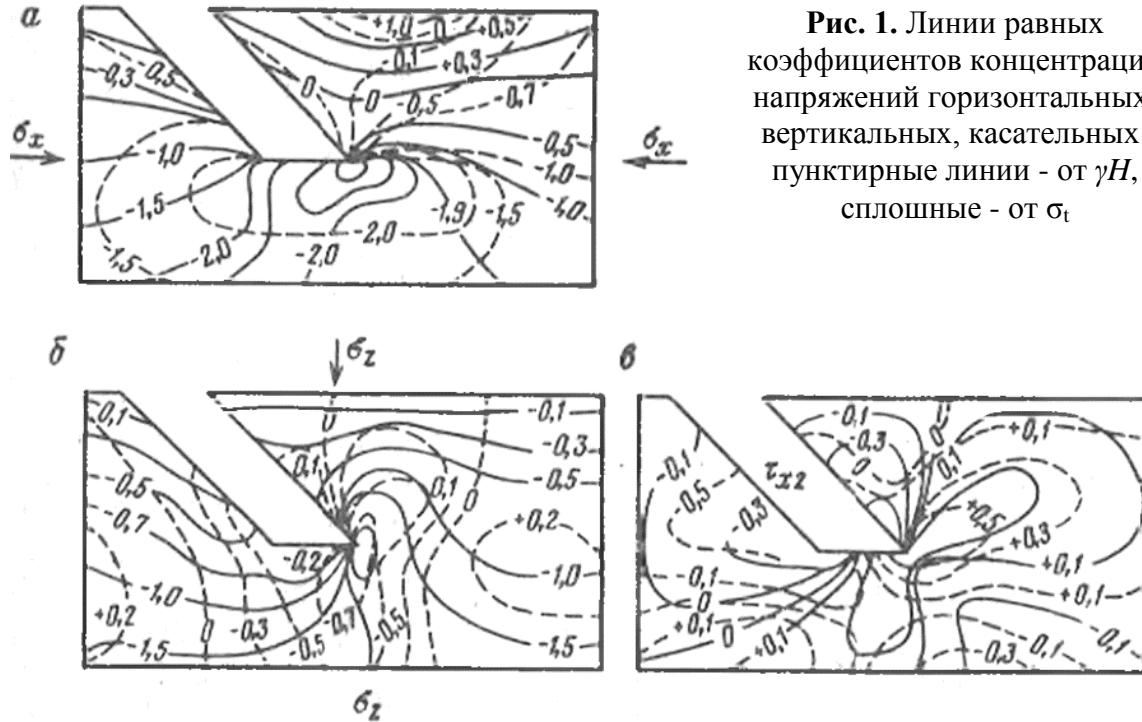
Вначале рассмотрим распределение напряжений под выработанным пространством, образованным разработкой наклонно падающих рудных тел и имеющих выход на земную поверхность.

При выемке наклонных рудных тел происходит, как правило, зависание всячего бока. Устойчивость массива горных пород зависит в основном от его прочностных свойств и напряженного состояния. Поэтому знание закономерностей распределения напряжений около выработанного пространства позволит прогнозировать поведение вмещающих пород (особенно всячего бока), производить более обоснованно выбор систем разработки и рациональней с точки зрения горного давления располагать капитальные и подготовительные выработки.

Изучение распределения напряжений вокруг выработанного пространства производили численным методом конечных разностей на машине БЭСМ-6.

Программа составлена на алгоритмическом языке АЛГОЛ-60. Переменными величинами являются: угол падения рудного тела  $\alpha$ , коэффициент бокового распора пород  $\lambda$ , мощность рудного тела  $m$  и длина

консоли по падению  $L$ , отнесенные к глубине выработанного пространства  $H$ .



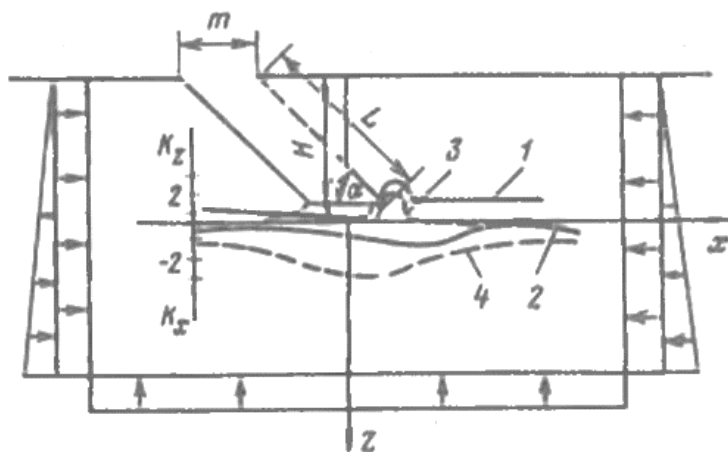
**Рис. 1.** Линии равных коэффициентов концентрации напряжений горизонтальных, вертикальных, касательных: пунктирные линии - от  $\gamma H$ , сплошные - от  $\sigma_t$

Задача решалась для  $\sigma_t = \gamma H = 1$ . Суммарные напряжения в каждой точке массива (МПа) можно найти суперпозицией

$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= K_{\gamma x} \gamma H + K_{t x} \sigma_t; \\
 \sigma_z &= \gamma H + K_{t z} \sigma_t; \\
 \tau_{xz} &= K_{\gamma xz} \gamma H + K_{t xz} \sigma_t;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $K_{\gamma x}$ ,  $K_{\gamma z}$ ,  $K_{\gamma xz}$ , - коэффициенты концентрации от сил веса соответственно для нормальных  $\sigma_x$  и  $\sigma_z$  и касательных  $\tau_{xz}$  напряжений;  $K_{t x}$ ;  $K_{t z}$ ;  $K_{t xz}$  - то же, от тектонических сил.

В выражении (1) при растяжении берется знак плюс, при сжатии - знак минус. Значения  $\sigma_t$  и  $\gamma H$  следует брать по абсолютной величине. В случае растягивающих тектонических сил соответствующие им коэффициенты концентрации меняют знаки на противоположные.



**Рис. 2.** График коэффициентов концентрации напряжений на глубине 0,1 под выработанным пространством  
1 -  $\sigma_{z\gamma}$ ; 2 -  $\sigma_{x\gamma}$ ; 3 -  $\sigma_{z,t}$ ;

4 -  $\sigma_{x,t}$ ;

Изложенные выше положения справедливы для усеченной и для неусеченной консолей. Линии равных коэффициентов концентрации напряжений вокруг наклонного выработанного пространства с необрушенной консолью висячего бока, показанные на рис. 1, при значениях переменных величин  $\alpha = 45$ ;  $\lambda=1$ ;  $m/H = 2/3$ ;  $L\sin\alpha/H= 1$ , выражают характер напряженного состояния вмещающих пород вокруг выработанного пространства.

Приведенные результаты показывают, что тектонические силы играют в общей картине напряженного состояния значительную роль. Сжимающие тектонические силы вызывают растягивающие горизонтальные напряжения по поверхности и в глубине консоли висячего бока, суммируясь с растягивающими напряжениями от собственного веса

(рис. 1, а). Общая картина напряжений под выработанным пространством довольно сложная. Под висячим боком наблюдается значительная концентрация горизонтальных и вертикальных (рис. 1, б) и касательных (рис. 1, в) напряжений. Последние создают зону "опорного давления", которая легко определяется по изолиниям. Под лежачим боком концентрация как вертикальных, так и горизонтальных напряжений от веса ниже, так как налегающая толща пород меньше, чем в висячем боку, уменьшения горизонтальных напряжений от тектонических сил там не наблюдается. В породах лежачего бока растяжения нет, но происходит снижение первоначальных напряжений, особенно тектонических. Расчет, проведенный для усеченной консоли, показал, что в этом случае характер распределения напряжений остается почти неизменным, меняются только их величины. Наблюдается уменьшение растяжения поверхности висячего бока, например, для отношения  $L \sin \alpha / H = 0,3$  и  $\lambda = 0,44$ ; максимальное значение

$K_{yx} = 0,36$ ;  $K_{tx} = 0,26$ . Уменьшается вертикальное сжатие от веса в зоне опорного давления. Под выработанным пространством и в породах лежачего бока изменения практически нет. Особенно мало меняются при изменении геометрии консоли напряжения от тектонических сил. Из рис. 2 видно, что тектоническая составляющая создает концентрацию горизонтальных напряжений (3-4)  $\sigma_t$  непосредственно под выработанным пространством, а вблизи границы отработки формируется зона опорного давления, в которой силы веса создают концентрацию  $\sigma_{zy} = 2,2 \gamma H$ , а тектонические  $\sigma_{z,t} = 1,5 \sigma_t$ , а на расстоянии  $0,2H$  напряжения практически не отличаются от первоначальных.

Таким образом, полученное распределение напряжений вокруг выработанного пространства позволяет качественно и количественно оценить поведение пород, окружающих выемку, более правильно произвести выбор системы разработки и направление подвигания

очистных работ вкрест простирания рудного тела. Ввиду большой концентрации тектонических напряжений под выработанным пространством их учет необходим при расчетах крепи выработок и параметров систем разработки. Определение размеров зоны опорного давления позволяет сделать правильный подход к вопросу расположения полевых откаточных штреков. Кроме напряжений по результатам расчета, при наличии упругих характеристик массива пород можно определить относительные и абсолютные его деформации. Изложенный выше метод определения напряженного состояния массива крепких горных пород остается справедливым и для случая, когда горизонтальные тектонические силы с глубиной изменяются по линейному или близкому к нему закону, т.е.  $\text{град } \sigma_t = \delta\sigma_t/\delta y = \text{const} = 0$ . Тогда в нетронутом массиве горизонтальные напряжения (МПа) будут:

$$\sigma_x = \sigma_x^0 + (z+H) \text{ град } \sigma_t + \sigma \lambda_\delta (z+H), \quad z+H \text{ или } \sigma_x = \sigma_x^0 + \lambda_\delta (z+H), \quad \text{где } \lambda = \lambda_\delta + \lambda_t;$$

$\lambda_\delta = \mu/(1-\mu)$  коэффициент бокового давления от веса;  $\lambda_t = \text{град } \sigma_t/\gamma$  - коэффициент изменения тектонических сил с глубиной;  $\sigma_x^0$  - величина тектонических напряжений около земной поверхности.

По мере понижения разработки наклонных и крутых рудных тел вмещающие породы обрушаются вплоть до земной поверхности. Под провалом в рудном теле обрабатываемого следующего этажа создается большая концентрация напряжений. Коэффициенты концентрации горизонтальных напряжений под провалом от давления обрушенных пород находятся по формулам:

$$K_{\gamma 0} = K_\gamma; \quad K_{\lambda 0} = K_t^0 - K_\tau$$

где  $K_t^0$  - первоначальная концентрация в месте определения напряжений в массиве пород до образования выемки.

Нормальные напряжения в рудном теле под провалом (МПа) будут равны:

$$\sigma_z = -\gamma_0 H_0;$$

$$\sigma_x = K_\gamma \gamma H + K_\lambda \lambda \gamma H + K_t \sigma_t - K_\gamma \gamma_0 H_0 - (K_\gamma - K_t^0) \gamma_0 H_0;$$

С увеличением глубины разработки будет уменьшаться отношение ширины выемки к ее высоте, и возрастет концентрация горизонтальных напряжений в основании провала. По мере удаления от основания провала концентрация напряжений будет уменьшаться. При этом величина концентрации от тектонических напряжений  $\sigma_t$  больше, чем от горизонтальных составляющих от веса пород  $\lambda \gamma H$  и она увеличивается в 8-9 раз. Таким образом, в нижележащем этаже напряжения выше, чем были в вышележащих, и они намного превышают первоначальные напряжения нетронутого массива горных пород.

В этом (нижнем) этаже в зависимости от применяемой системы разработки будут образовываться те или иные полости (выработки), которые будут создавать вокруг себя соответствующую дополнительную концентрацию этих напряжений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В.К., Липчанский Б.М., Пирля К.В. Об инженерной оценке напряжений в массиве горных пород. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1982, № 1, с. 20-28.

2. Андриевский А.П. Методика определения расстояния между шпурами и скважинами для щелеобразования. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1983, № 4, с. 34-38.

3. Антоненко Л.К., Влох Н.П., Ильин А.М. Разработка рудных месторождений с использованием энергии горного давления. - Безопасность труда в промышленности, 1986, № 8, с. 58-61.

4. Бобров Г.Ф. Проблемы изучения деформаций горных пород при сложном напряженном состоянии. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1982, № 2, с. 24-3<sup>3</sup>/<sub>4</sub>.

5. Бовин А.А., Курленя М.В., Шемякин Е.И. Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых на больших глубинах. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1983, № 3, с. 64-73.

6. Влияние расположения отрезной щели на устойчивость камеры / Влох Н.П., Крутиков А.В., Шуплецов Ю.П., Коваленко А.И. - Горный журнал, 1983, № 5, с. 26-28.

7. Влох Н.П., Зубков А.В. у Липин Я.И. Прогноз удароопасности выработок на стадии проектирования горных работ. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудных месторождениях Апатиты, 1987.

8. Влох Н.П. у Зубков А.В., Пятков Ю.Ф. Совершенствование конструкции днищ в условиях действия высоких горизонтальных сжимающих напряжений. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1981, № 4.

9. Влох Н.П. у Зубков А.В. у Феклистов Ю.Г. Метод частичной разгрузки на большой базе. Диагностика напряженного состояния породных массивов. Новосибирск, Наука, 1980.

10. Влох Н.П. у Зубков А.В., Шуплецов Ю.П. Опыт применения податливых потолочин при отработке наклонно падающих рудных тел. - Горный журнал, 1983, № 11, с. 43-45.

11. Внедрение естественного управляемого обрушения вмещающих пород на железных рудниках Урала и Казахстана /н.П . Влох, А.В. Зубков, Н.С. Ефремовцев и др. - Горный журнал, 1981, № 4, с. 55-58.

12. Егоров П.В. у Колмаков В.А. Оценка напряженного состояния гранитов. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1983, № 3, с. 107-110.



13. Зубков А.В., Влох Н.П. Влияние деформации двух пород у контура на распределение напряжений в них при проведении горной выработки. – Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1980, № 2, с. 3-7.

14. Зубков А.В. Зависимость напряженного состояния кровли и стенок камеры от ее трехмерности. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1987, № 5, с. 11-16.

15. Исследования проявления горного давления и технологии подземной разработки руд на больших глубинах под ред. Д.М. Бронникова. М., ИПКОН, 1983.

16. Катков Г.А. Определение напряжений в массиве пород контактными методами. Методология и технические средства определения напряжений в горном массиве. Новосибирск, Наука, 1983.

17. Крыжановский А.В. О возможности управления устойчивостью приконтурного массива выработок доставки в днище блока при действии горизонтальных тектонических сил. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1981, № 4, с. 82-87,

18. А.Д. Меликулов, К.Д. Салямова, Н.Ю. Гасанова, Г.Х. Бакиров, Х.Х. Абдурахманов. Статья. Геомеханические факторы повышения эффективности геотехнологий с учетом их ресурсопроизводства и ресурсосбережения в современных рыночных условиях. Журнал «Проблемы энерго-и ресурсосбережения» 2019, № 3, с. 52-63,