

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЙ КРУПНОМАСШТАБНОГО ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗЛОМА НА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ВЫРАБОТКИ

БАЙМАХАН Р.Б.,* СЕЙНАСИНОВА А.А. КОЖОГУЛОВ К.Ч.*****

Институт сейсмологии, Институт математики и механики при КНУ им. Аль-Фараби,
г.Алматы,** Институт геомеханики и освоения недр НАН КР****

izvestiya@ktu.aknet.kg

Приводятся результаты расчета по определению концентрации упругих напряжений в горизонтально слоистом массиве вблизи контура горной выработки находящихся в наклонном крупнослоистом массиве. Эпюрами показываются области появления анизотропной пластичности в зависимости от места расположения выработки относительно границ крупных слоев.

Большинству горным породам присуще горизонтально и наклонно слоистые строения. Нередко рудные или угольные тела по природе имеют также слоистые строения, занимая ограниченные пространства в слоистом скальном массиве. Скальный массив представляет собой породу с пониженной прочностью, имеющую ослабления в виде трещин, поверхностей напластования, повреждений. Такие ослабления определяют геометрию возможного разрыва и нарушают условия его работы как единого целого. Особую важность понятие прочности приобретает при разработке твердой монолитной скалы, разрушение которой, имеющее, как правило, хрупкий характер, может повлечь за собой серьезные обрушения, угрожающее не только безопасности персонала, но и экономике предприятия в связи с задержками в работе производства /1/. Трещиноватость в породах может быть различной-от выраженной единичной прерывистой трещины до закономерно распределенных в массиве систем трещин /2/. Тектонические трещины имеют размеры по ширине от миллиметров до десятков метров. Систем таких трещин-разрывов образуют крупного слоистого строения горного массива. Еще не совсем изучены механизмы трещинообразования в массиве анизотропного строения вблизи контура горной выработки. Даже хрупкому разрушению массива предшествует образования пластических зон. Неясно также механизм и характер развития пластических зон в анизотропном массиве, в частности вдоль и в перпендикулярном направлениях в трансверсально- изотропной среде.

На характер трещинообразования влияет не только сжимающие, но и растягивающие напряжения. На кровле и почве горной выработки находящейся в естественной геостатических и тектонических полей напряжений, появляются растягивающие напряжения. Рудное тело вокруг выработки нередко имеет наклоннослоистое строение находясь в горизонтально слоистом массиве.

Изучения этих вопросов представляет собой не только теоретико-научное, но и непосредственное практическое значение в горном производстве.

Рассмотрим напряжено-деформирован-ного состояния выработки находящегося в горизонтально слоистом и в то же время наклонно крупнослоистом массиве. Протяженная ось выработки может пройти на висящий или лежащий сторонах границ пересечения крупных слоев или даже непосредственно на границе стыковок разнородных наклонных слоев. На рисунке 1а показана расчетная схема исследуемой области с выработкой, геометрические размеры и граничные условия в перемещениях и напряжениях.

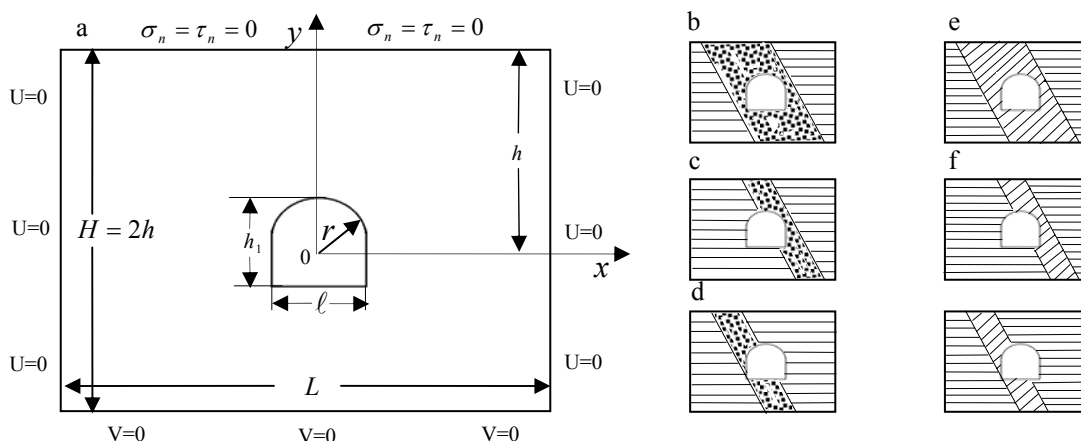


Рис 1. Расчетная схема исследуемой области и варианты исследования

В боковых областях отсутствуют горизонтальные U и на оснований вертикальные V компоненты перемещений. Дневная поверхность свободна от нагрузок. Рассматриваются варианты заложения выработки $h = 100\text{ м}$ и $h = 300\text{ м}$. Геометрические размеры расчетной области: $L = 200\text{ м}$; $h_1 = \ell = 5\text{ м}$; $r = 2,5\text{ м}$.

На рисунках 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 1g показаны различные варианты расположения горной выработки относительно крупных наклонных слоев.

Если в вариантах 1 b,c,d крупные слои имеют изотропные строения, то на рисунках 1 e, f, g наклонный крупный слой является трансверсально-изотропной. Как видим, на рисунках 1b и 1e, выработка целиком находится внутри наклонных крупных слоев. На рисунках 1c и 1f выработки находятся под висящих сторонах наклонных слоев, а на рисунках 1d и 1g они находятся на лежащих сторонах. Ширины наклонных слоев на рисунках 1b и 1e 20 метров и на остальных рисунках ширина равна 10 м. Во всех вариантах выработка вместе с наклонными слоями находятся в горизонтально слоистом анизотропном массиве.

Физико-механические и прочностные свойства коренной породы и изотропных и трансотропных наклонных слоев примененные для расчетов, приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Физико-механические свойства наклонно-слоистого угольного пласта,
транстропного строения**

№	Материал	$\sigma_{сж}, Mna$ по направл		$\sigma_{рас}, Mna$ по направл		$E_1,$ $10^{-4} Mna$	$E_2,$ $10^{-4} Mna$	$G_2,$ $10^{-4} Mna$	ν_1	ν_2	$C,$ Mna	φ^0	$\gamma,$ $1 \cdot 10^2$ Mn/m^3
		E_1	E_2	E_1	E_2								
1	Уголь, пласт 550м	12- 23	7- 16	5	5	0,54	0,25- 0,52	0,20	0,27 - 0,39	0,22 - 0,44	8,6	28	2,3
2	Алевро лит	9,0	5,3 - 8,7	9- 11	6,0	3,2	1,6	0,63- 0,58	0,26 - 0,38	0,21 - 0,46	23	38	2,58

Таблица 2

Физико-механические и прочностные свойства некоторых горных пород

№	Материал	$E,$ $10^{-4} Mna$	ν	$\gamma,$ $1 \cdot 10^2$ Mn/m^3	$C,$ Mna	φ^0	$\sigma_{сж}, Mna$	$\sigma_{рас}, Mna$	$\tau_{сд}$
1	Алевролит мелкозернистый	1,52	0,21	2,60	11,0	31	420- 485	35	90
2	Известняк глинистый	6,50	0,22	2,72	47,5	36	1440	100	26 0

Основной массив в расчетной области является алевролитом горизонтально слоистого строения, приведенный на 2-строке таблицы 1. Материалам наклонных слоев, показанные на рисунках 1b-1d соответствуют глинистый известняк, свойства которых приведены на 2-строке таблицы 2. И, наконец, материалами наклонных крупных слоев, показанные на рисунках 1e и 1g являются угольный пласт анизотропного строения, лежащей под углом $\varphi_1 = 30^0$. Их значения приведены в первой строке таблицы 1.

Следует сказать, что в таблице 1 приведены как бы некоторые средние значения для сил сцепления C и угла внутреннего трения φ . Но как показывают начальные столбцы этой таблицы, прочностные значения в направлениях вдоль слоев (V) и перпендикулярно слоям (P) отличаются. Следовательно, значения C и φ должны быть различными. Их теоретические значения можно получить по методике И.А. Турчанинова [3], которая иллюстрирована на рисунке 2. Здесь τ_0 – соответствует C^V либо C^P .

Найденные по этой методике значения углов внутренних трений и сил сцепления для критических значений приведенные в таблице 1, оказались равными: вдоль слоев плоскости изотропии (E_1) при $\sigma_{рас} = 5Mna$, $\sigma_{сж} = 23Mna$: $\varphi^V = 42^0$, $C^V = 5,5Mna$, для $\sigma_{рас} = 5Mna$, $\sigma_{сж} = 12Mna$: $\varphi^V = 28^0$, $C^V = 3,8Mna$ и в направлений перпендикулярной к плоскости изотропии (E_2) при $\sigma_{рас} = 5Mna$, $\sigma_{сж} = 16Mna$: $\varphi^P = 32^0$, $C^P = 4,8Mna$, для $\sigma_{рас} = 5Mna$, $\sigma_{сж} = 7Mna$: $\varphi^P = 20^0$, $C^P = 3,2Mna$

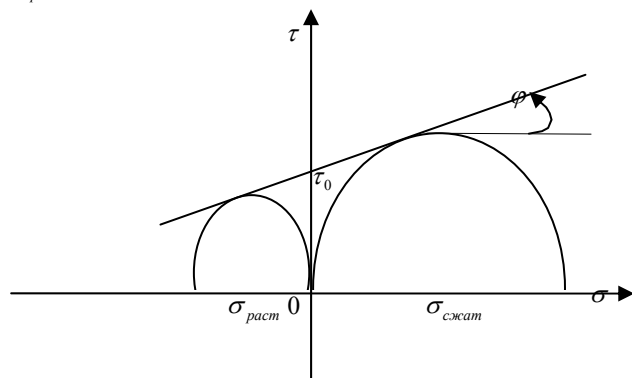


Рис. 2. К теоретическому определению значений углов внутренних трений и сил сцепления вдоль φ^v, C^v и перпендикулярно φ^p, C^p , слоям плоскости изотропии трансформного массива.

Из-за сложности исследуемого объекта данная задача решена методом конечных элементов (МКЭ) с применением восьмиузлового изопараметрического конечного элемента. Система уравнений равновесия составляются по известной методике МКЭ с применением для дискретизации расчетной области восьми узловых изопараметрических четырехугольников произвольной формы (прямоугольники, трапеции и т.д.).

Матрицы жесткости элементов вычисляются с помощью выражений О. Зенкевич /4/

$$[K] = \sum_{i,j,k} \alpha_{ijk} [B]^T [D][B] \det[J], \quad (1)$$

где α_{ijk} – константы зависящие от ξ_i, η_i и толщины элемента t_i , $[B], [D]$ – матрицы базисных функций и упругости, $\det[J]$ – якобиан, $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots$ номера точек интегрирования внутри конечных элементов. Матрица жесткости системы вычисляется суммированием жесткости отдельных элементов, рассчитанных по (1) и составляет уравнение равновесия в виде.

$$[K]\{U_0\} = \{P\} + \{T\}. \quad (2)$$

Объемные P и тектонические силы в (2), вычисляются с помощью выражений

$$\{P\} = [Q]^T \{f\}^S \det[J], \quad (3)$$

где $\{f\}^S$ – вектор объемной силы для элемента. Горизонтальная составляющая тектонической силы имеет вид Турчанинов /3/

$$\{T\} = \chi \{P\}, \quad (4)$$

где χ – коэффициент тектонического сжатия, $\nu < \chi < 1$, ν – коэффициент Пуассона.

Компоненты этих сил вычисляются с помощью $p_y = g\rho H$, $p_x = \frac{\nu}{1-\nu} g\rho H$,

$$T_x = T_{H_0}, \quad T_y = T_x + \chi H, \quad (5)$$

где g – ускорение силы тяжести; ρ – плотность вышележащих пород; T_H – значение горизонтальной составляющей тектонической силы на земной поверхности; ν – коэффициент Пуассона; χ – коэффициент тектонического сжатия ($\nu \leq \chi \leq 1$); H – рассматриваемая глубина от земной поверхности.

Вектора деформации и напряжений вычисляются в точках интегрирования $\xi_{i,j}, \eta_{i,j} \{\epsilon_k\}_{i,j} = [B_{k,m}]_{i,j} \{U_{0m}\}$, ($k = 1, 2, 3, m = 1, 2, \dots, 16, i = j = 1, 2, \dots, 9$) (6)

$$\{\sigma_k\}_{i,j} = [D_{k,n}] \{\epsilon_k\}, \quad (n = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3) \quad (7)$$

где $\{\epsilon_k\}_{i,j} = \{\epsilon_{k,x}, \epsilon_{k,z}, \lambda_{k,xz}\}_{i,j}$, $\{\sigma_k\}_{i,j} = \{\sigma_{k,x}, \sigma_{k,z}, \tau_{k,xz}\}_{i,j}$ – деформации и напряжения;

$\{U_m\} = \begin{bmatrix} u_\ell & 0 \\ 0 & \vartheta_\ell \end{bmatrix}$, ($\ell = 1, 2, \dots, 8$) – перемещения узловых точек.

Пластические зоны, возникающие в областях критических концентраций напряжений вдоль слоев плоскости изотропии и перпендикулярно к ним определяются обобщением известной условия предельного перехода по Кулону-Мора $|\tau| = C + \sigma \tan \varphi$.

где φ – угол внутреннего трения, C – коэффициент сцепления, σ – нормальная компонента напряжений. Смысл обобщений показан на рисунке 3.

Запишем компоненты напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – в системе координат nOt /5/.

$$\sigma_n = 0.5(\sigma_x + \sigma_y) + (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\varphi' + \tau_{xy} \sin 2\varphi',$$

$$\sigma_t = 0.5(\sigma_x + \sigma_y) - (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\varphi' - \tau_{xy} \sin 2\varphi', \quad (8)$$

$$\tau_{nt} = -0.5(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\varphi' + \tau_{xy} \cos 2\varphi'$$

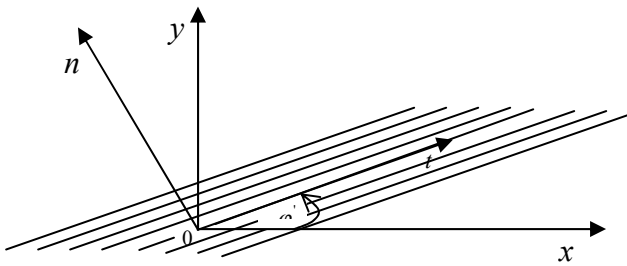


Рис. 3. Расположение слоев наклоннослоистого транстропного массива относительно декартовой системы координат xOy . nOt – координата, связанная с углом наклона плоскости изотропии φ .

В справочных литературах часто встречаются критические значения сжимающих $\sigma_{сж}^{кр}$ и растягивающих $\sigma_{рас}^{кр}$, а также сдвигающих $\tau_{сд}^{кр}$ напряжений для многих типов пород /6/. По экспериментально найденным критическим значениям $\sigma_{сж}^{кр}$ и $\sigma_{рас}^{кр}$ вдоль (\mathcal{G}) и перпендикулярно (p) слоям плоскости изотропии, то для этих направлений значений угла внутреннего трения φ'_g , φ'_p и сил сцепления c_g , c_p мы можем легко найти нанося их значений в диаграмму $\tau\theta\sigma$ по методике И.А. Турчанинова /3/.

Расчетная область, показанная на рисунке 1а, разбита на 6234 восьмиузловые изопараметрические элементы с общим количеством узлов 19582. Ниже на рисунке 4 отдельно показаны эпюры нормальных тангенциальных напряжений σ_θ^n на контуре выработки для глубины заложения 100м. Угол наклона плоскости изотропии крупного слоя во всех вариантах относительно горизонтальной оси xOy составляет $\varphi = 30^\circ$ с учетом тектонических сил.

Общий анализ результатов расчетов показывает, что крупные слои, которые отличаются от основного анизотропного массива со своими размерами и свойствами, значительно влияют, на величину и форму эпюр нормальных тангенциальных напряжений. Почти во –всех вариантах счетов на кровле и на почве появляются незначительные растягивающие напряжения. Максимальные по величине сжимающие напряжения появляются в основном в угловых и на боковых областях выработки.

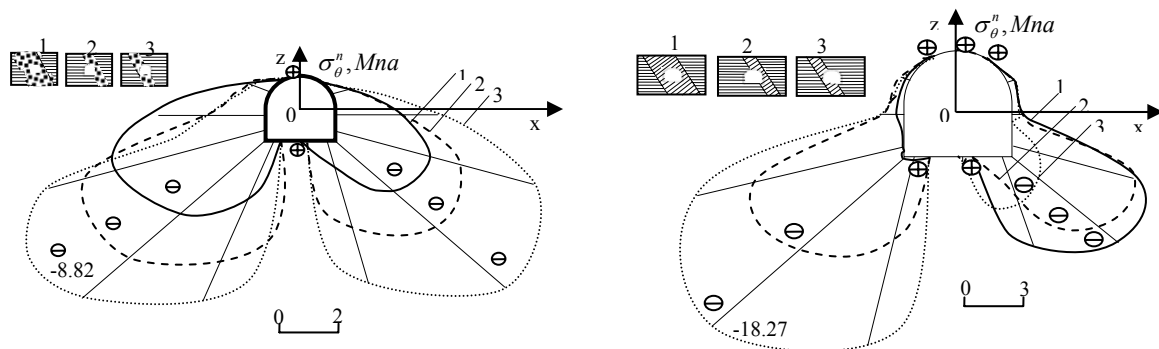


Рис. 4. Эпюры упругих геостатических нормальных тангенциальных напряжений на контуре выработки для трех случаев ее расположения относительно крупных слоев.

Глубина заложения выработки $h = 100\text{м}$.

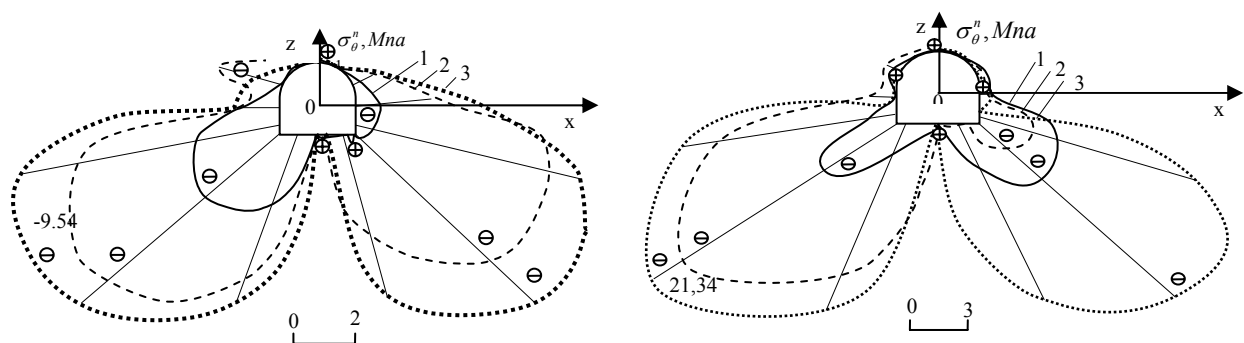


Рис. 5. Эпюры упругих геостатических нормальных тангенциальных напряжений на контуре выработки для трех случаев ее расположения относительно крупных слоев.

Глубина

заложения выработки $h = 100_m$

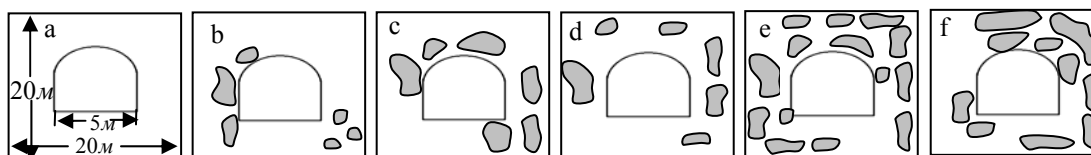


Рис. 6. Пластические зоны вокруг выработок для вариантов исследования, показанной на рисунке 1b, 1d и 1e,f,g. Глубина заложения выработок 300м. Угол наклона слоев $\varphi = 30^\circ$.

Варианты рисунка 6 *b* и *c* - соответствуют нагрузкам от геостатических полей напряжений. Варианты 6 *d*, *e*, *f* - соответствуют во-первых глубину заложения выработок 300м и нагрузкам геостатических и тектонических напряжений.

Литература

1. Троллоп Д.Х. Критерии разрушения хрупких скальных пород. /Введение в механику скальных пород. – М: Мир, 1983, с.96-107.
2. Бест Б.С. Механизм разрушения трещиноватых скальных пород. /Введение в механику скальных пород. – М: Мир, 1983, с.151.
3. Турчанинов И.А., Иофис М.В., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л: Недра, 1977, 503с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М: Мир, 1975, 541 с.
5. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М:Гостехиздат, 1954, 274с.
6. Справочник (КАДАСТР) физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1975. – 279 с.

