

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

В рамках плоской деформации досліджено напружено-деформований стан анізотропного масиву гірничих порід у випадку початкової стадії розробки пласта корисної копалини з швидко-змінюваними пружнопластичними властивостями.

При разработке пласта полезного ископаемого в массиве горных пород происходят процессы перераспределения напряжений и деформаций. Имеет место деформирование и разрушение боковых пород в связи с потерей равновесного состояния. При этом пласт полезного ископаемого возле выработки находится в пластическом состоянии. На практике для активного управления горным давлением часто применяют способы искусственного изменения упругопластических свойств пласта полезного ископаемого. Так при разработке пласта высокой крепости применяют способы уменьшения упругопластических свойств пласта (увлажнение угольного пласта водным раствором ПАВ в области, прилегающей к горной выработке, выбуривание пласта разгрузочными скважинами). При креплении лав для повышения устойчивости кровли и улучшения характера взаимодействия крепи с боковыми породами, предупреждения внезапных обрушений (высыпаний) угля из забоя, обеспечения безопасности используют технологические меры увеличивающие упругопластические свойства пласта полезного ископаемого (химическое анкерование, нагнетание укрепляющих составов).

В данной работе в рамках плоской деформации исследовано напряженно-деформированное состояние анизотропного массива горных пород при разработке неоднородного пласта полезного ископаемого.

Рассмотрим горизонтальный пласт полезного ископаемого мощностью $2h$, расположенный на глубине H от дневной поверхности рис. 1. Угол ψ фиксирует положение плоскостей изотропии горных пород. Считаем, что пласт в крайних частях $(-x_2^0, -x_p^0)$ и (x_p, x_2) деформируется в соответствии со своими пластическими свойствами, а в $(-x_p^0, -x_1)$ и (x_1, x_p) пласт деформируется в соответствии с искусственно введенными пластическими свойствами.

Система координат xOy не совпадает с главными напряжениями упругости массива, поэтому параметры μ_1 и μ_2 являются комплексными. Физическая постановка задачи позволяет сформулировать граничные условия для верхней полуплоскости с границей вдоль действительной оси в виде

$$v = h, \quad x \in (-\infty, -x_2^0) \cup (x_2, +\infty),$$

$$\sigma_y = \gamma H - (n_1 x + m_1), \quad -x_2^0 < x < -x_p^0,$$

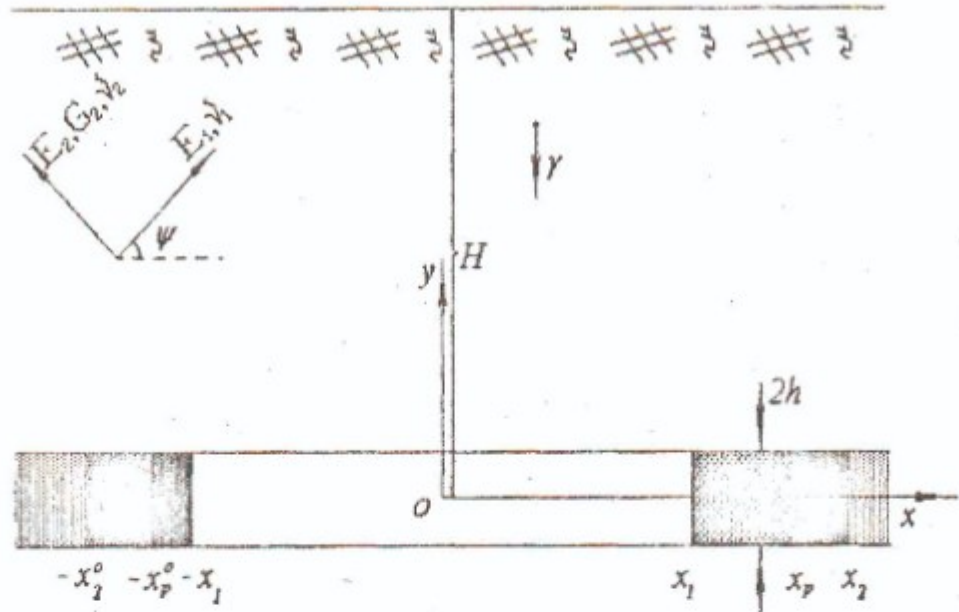


Рис. 1 - Схема разработки горизонтального пласта полезного ископаемого

Рис. 1 - Схема разработки горизонтального пласта полезного ископаемого

$$\begin{aligned}
 \sigma_y &= \gamma H - (a_1 x + c_1), & -x_p^0 < x < -x_1, \\
 \sigma_y &= \gamma H, & -x_1 < x < x_1, \\
 \sigma_y &= \gamma H - (a_2 x + c_2), & x_1 < x < x_p, \\
 \sigma_y &= \gamma H - (n_2 x + m_2), & x_p < x < x_2, \\
 \tau_{xy} &= 0, & |x| < \infty.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 n_1 &= -\frac{T_n}{h}, & m_1 &= \frac{T_n^1}{h} (x_p^0 - x_1) + T_n \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{1 - c_r} - \frac{x_p^0}{h} \right), \\
 n_2 &= \frac{T_n}{h}, & m_2 &= \frac{T_n^2}{h} (x_p - x_1) + T_n \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{1 - c_r} - \frac{x_p}{h} \right), \\
 a_1 &= -\frac{T_n^1}{h}, & c_1 &= T_n^1 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{1 - c_r^1} - \frac{x_1}{h} \right), \\
 a_2 &= \frac{T_n^2}{h}, & c_2 &= T_n^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{1 - c_r^2} - \frac{x_1}{h} \right).
 \end{aligned}$$

где T_n, T_n^1, T_n^2 - пределы текучести при сдвиге в плоскости xOy для материала пласта; c_r, c_r^1, c_r^2 - параметры пластической анизотропии пласта, величины которых изменяется в интервале $(-\infty, 1)$ [4].

Данная граничная задача есть частный случай смешанной задачи, изложенной в работах [1-3]. Решение смешанной задачи (1), сингулярное в точках раздела граничных условий и исчезающее на бесконечности, имеет следующий вид:

$$\Phi(z_1) = \frac{\mu_2}{\mu_2 - \mu_1} F(z_1), \quad \Psi(z_2) = -\frac{\mu_1}{\mu_2 - \mu_1} F(z_2). \quad (2)$$

При этом

$$\begin{aligned} F(z) = & \frac{\gamma H}{2} + \frac{n_1}{\pi} \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0 - x_p^0}{x_2 + x_p^0}} + \frac{n_1 z + m_1}{2\pi i} \times \\ & \times \ln \frac{2i \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} (x_2^0 - x_p^0) (x_2 + x_p^0) - (x_2 - x_2^0) (z - x_p^0) - 2(zx_p^0 + x_2 x_2^0)}{- (x_2 + x_2^0) (x_p^0 + z)} + \\ & + \frac{n_2}{\pi} \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2 - x_p}{x_2^0 + x_p}} - \frac{n_2 z + m_2}{2\pi i} \times \\ & \times \ln \frac{-2i \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} (x_2^0 + x_p) (x_2 - x_p) + (x_2 - x_2^0) (z + x_p) - 2(zx_p - x_2 x_2^0)}{(x_2 + x_2^0) (x_p - z)} + \\ & + \frac{a_1}{\pi} \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0 - x_1}{x_2 + x_1}} + \frac{a_1 z + c_1}{2\pi i} \times \\ & \times \ln \frac{2i \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} (x_2^0 - x_1) (x_2 + x_1) - (x_2 - x_2^0) (z - x_1) - 2(zx_1 + x_2 x_2^0)}{- (x_2 + x_2^0) (z + x_1)} + \\ & - \frac{a_1}{\pi} \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0 - x_p^0}{x_2 + x_p^0}} - \frac{a_1 z + c_1}{2\pi i} \times \\ & \times \ln \frac{2i \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} (x_2^0 - x_p^0) (x_2 + x_p^0) - (x_2 - x_2^0) (z - x_p^0) - 2(zx_p^0 + x_2 x_2^0)}{- (x_2 + x_2^0) (z + x_p^0)} + \\ & - \frac{a_2}{\pi} \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2 - x_p}{x_2^0 + x_p}} + \frac{a_2 z + c_2}{2\pi i} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \ln \frac{-2i \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)(x_2^0+x_p)(x_2-x_p)} + (x_2-x_2^0)(z+x_p) - 2(zx_p-x_2x_2^0)}{(x_2+x_2^0)(x_p-z)} + \\
& + \frac{a_2}{\pi} \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_1}{x_2^0+x_1} - \frac{a_2z+c_2}{2\pi i}} \times \\
& \times \ln \frac{-2i \sqrt{(z+x_2^0)(z-x_2)(x_2^0+x_1)(x_2-x_1)} + (x_2-x_2^0)(z+x_1) - 2(zx_1-x_2x_2^0)}{(x_2+x_2^0)(x_1-z)}. \quad (3)
\end{aligned}$$

Решение (3) ограничено в точках $-x_2^0$ и x_2 .

Условие локального влияния выработки на напряженное состояние массива для функции (2) примет вид

$$\begin{aligned}
& \frac{\gamma H}{2} + \frac{n_1}{2\pi} \sqrt{(x_2^0-x_p^0)(x_2+x_p^0)} - \frac{n_1}{2\pi} (x_2-x_2^0) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_p^0}{x_2+x_p^0}} - \frac{m_1}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_p^0}{x_2+x_p^0}} - \\
& - \frac{n_2}{2\pi} \sqrt{(x_2^0+x_p)(x_2-x_p)} - \frac{n_2}{2\pi} (x_2-x_2^0) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_p}{x_2^0+x_p}} - \frac{m_2}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_p}{x_2^0+x_p}} + \\
& + \frac{a_1}{2\pi} \sqrt{(x_2^0-x_1)(x_2+x_1)} - \frac{a_1}{2\pi} (x_2-x_2^0) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_1}{x_2+x_1}} - \frac{c_1}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_1}{x_2+x_1}} - \\
& - \frac{a_1}{2\pi} \sqrt{(x_2^0-x_p^0)(x_2+x_p^0)} + \frac{a_1}{2\pi} (x_2-x_2^0) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_p^0}{x_2+x_p^0}} + \frac{c_1}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_p^0}{x_2+x_p^0}} + \\
& + \frac{a_2}{2\pi} \sqrt{(x_2^0+x_p)(x_2-x_p)} + \frac{a_2}{2\pi} (x_2-x_2^0) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_p}{x_2^0+x_p}} + \frac{c_2}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_p}{x_2^0+x_p}} - \\
& - \frac{a_2}{2\pi} \sqrt{(x_2^0+x_1)(x_2-x_1)} - \frac{a_2}{2\pi} (x_2-x_2^0) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_1}{x_2^0+x_1}} - \frac{c_2}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_1}{x_2^0+x_1}} = 0. \quad (1)
\end{aligned}$$

Для перемещений получим еще одно трансцендентное соотношение [2,3]

$$\begin{aligned}
& -2\beta \left\{ \left[n_1 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_p^0}{x_2+x_p^0}} + n_2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_p}{x_2^0+x_p}} + a_1 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_1}{x_2+x_1}} - \right. \right. \\
& \left. \left. - a_1 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2^0-x_p^0}{x_2+x_p^0}} - a_2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_p}{x_2^0+x_p}} + a_2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x_2-x_1}{x_2^0+x_1}} \right] \frac{(x_2+x_2^0)^2}{8} + \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{n_1}{4} (2x_p^0 - x_2 + x_2^0) - m_1 \right) \frac{\sqrt{(x_2 + x_p^0)(x_2^0 - x_p^0)}}{2} + \\
& + \left(\frac{n_2}{4} (2x_p + x_2 - x_2^0) + m_2 \right) \frac{\sqrt{(x_2 - x_p)(x_2^0 + x_p)}}{2} + \\
& + \left(\frac{a_1}{4} (2x_1 - x_2 + x_2^0) - c_1 \right) \frac{\sqrt{(x_2^0 - x_1)(x_2 + x_1)}}{2} - \\
& - \left(\frac{a_1}{4} (2x_p^0 - x_2 + x_2^0) - c_1 \right) \frac{\sqrt{(x_2^0 - x_p^0)(x_2 + x_p^0)}}{2} - \\
& - \left(\frac{a_2}{4} (2x_p - x_2^0 + x_2) + c_2 \right) \frac{\sqrt{(x_2^0 + x_p)(x_2 - x_p)}}{2} + \\
& + \left(\frac{a_2}{4} (2x_1 - x_2^0 + x_2) + c_2 \right) \frac{\sqrt{(x_2^0 + x_1)(x_2 - x_1)}}{2} \Bigg\} = 0. \quad (5)
\end{aligned}$$

Трансцендентные уравнения (4) и (5) образуют систему двух уравнений для определения неизвестных длин призабойных пластических областей $(x_2^0 - x_1)$ и $(x_2 - x_1)$ в зависимости от координат краевых положений пласта, исходного горного давления, глубины, мощности, пластических свойств разрабатываемого пласта полезного ископаемого, длин искусственно введенных пластических зон.

Результаты численных расчетов системы трансцендентных уравнений (4) и (5), приведенные в табл. 1-3, позволяют дать оценку влияния искусственно введенных упруго пластических свойств на протяженность призабойных пластических зон $(x_2^0 - x_1)$ и $(x_2 - x_1)$. При численных расчетах полагалось, что $\lambda = 0,9$. Как видно из табл. 1, при уменьшении параметра $T_n^i, (i = 1, 2)$ по сравнению с исходным T_n (длина выработанного пространства $2x_1$ при этом фиксируется) протяженности зон пластических деформаций $(x_2^0 - x_1), (x_2 - x_1)$ увеличиваются. При увеличении параметра $T_n^i, (i = 1, 2)$ по сравнению с исходным T_n длины зон пластических деформаций уменьшается. Также на протяженность зон пластических деформаций влияет на параметр пластической анизотропии $c_r^i, (i = 1, 2)$. При увеличении параметра $c_r^i, (i = 1, 2)$ по сравнению с исходным c_r длины призабойных пластических зон увеличиваются, при уменьшении c_r^i происходит уменьшение зон пластических деформаций. При этом наблюдается значительное увеличение длины призабойной пластической зоны в которых были уменьшены упругопластические свойства. Длина зоны пластических де-

формаций, в которой были искусственно увеличены упругопластические свойства, значительно уменьшилась.

Таблица 1 - Длины зон пластических деформаций при
 $H=1000$ м, $2h=1$ м, $x_1=30$ м, $x_p^0=32$ м, $x_p=40$ м

T_n^1, C_p^1	T_n	$(x_2^0 - x_1), \text{ м}$					$(x_2 - x_1), \text{ м}$				
		C_p									
T_n^2, C_p^2		-10	-5	-1	0	0.9	-10	-5	-1	0	0.9
0, 0	12	22.09	22.86	23.79	24.17	24.80	22.09	22.86	23.79	24.17	24.80
	25	11.60	12.30	13.16	13.52	14.11	11.60	12.30	13.16	13.52	14.11
0, 0	50	6.11	6.73	7.53	7.86	8.42	6.11	6.73	7.53	7.86	8.42
0, 0	12	22.09	22.82	23.72	24.08	24.68	22.09	22.69	23.43	23.73	24.24
	25	11.84	12.52	13.36	13.70	14.28	16.70	17.26	17.97	18.26	18.76
12, -10	50	6.35	6.96	7.74	8.07	8.62	13.57	14.07	14.74	15.02	15.52
50, -10	12	15.73	16.36	17.13	17.45	17.98	21.61	22.36	23.26	23.63	24.24
	25	9.62	10.20	10.93	11.23	11.75	11.50	12.18	13.03	13.37	13.95
0, 0	50	6.11	6.63	7.32	7.61	8.11	6.11	6.73	7.51	7.83	8.39
50, -10	12	15.86	18.45	17.18	17.48	17.98	22.22	22.78	23.47	23.76	24.24
	25	9.93	10.50	11.20	11.50	11.99	17.05	17.59	18.27	18.55	19.03
12, 0.9	50	6.38	6.90	7.58	7.87	8.36	13.90	14.40	15.05	15.33	15.81

В табл.2 представлены результаты влияния изменения упругопластических свойств в зависимости от глубины выработки H и длины выработанного пространства $2x_1$ (при этом длина зоны с искусственно увеличенными упругопластическими свойствами $(x_p^0 - x_1)$ равна 2 м, длина зоны с уменьшенными упругопластическими свойствами $(x_p - x_1)$ равна 10 м). Как видно из таблицы, с увеличением глубины выработки H разница между длинами зон пластических деформаций $(x_2^0 - x_1)$ и $(x_2 - x_1)$ по величине увеличивается в случае, когда были проведены технологические мероприятия, направленные на уменьшение упругопластических свойств пласта и уменьшается в случае искусственного увеличения упругопластических свойств пласта. При увеличении длины выработанного пространства x_1 разница длин зон пластических деформаций $(x_2^0 - x_1)$ и $(x_2 - x_1)$ уменьшается.

В табл.3 приведены длины зон пластических деформаций $(x_2^0 - x_1)$ и $(x_2 - x_1)$ в зависимости от длин зон $(x_p^0 - x_1)$ и $(x_p - x_1)$ (в области $(x_p^0 - x_1)$ были увеличены упругопластические свойства, в $(x_p - x_1)$ - уменьшены по сравнению с исходными). При увеличении зоны $(x_p - x_1)$ мы видим увеличение зон пластических деформаций, при увеличении зоны $(x_p^0 - x_1)$ уменьшение зон пластических деформаций. Причем мы видим значительное изменение длин

призобойных пластических зон, в которых были проведены технологические мероприятия, связанные с искусственным изменением упругопластических свойств призобойной области.

Таблица 2 - Длины зон пластических деформаций при $2h=1\text{м}$, $T_n=25\text{кГ/см}^2$, $c_p=0$.

T_n^1, c_p^1	H	$(x_2^0 - x_1), \text{м}$				$(x_2 - x_1), \text{м}$			
		$x_1, \text{м}$							
T_n^2, c_p^2		20	30	40	50	20	30	40	50
0, 0	500	26.92	37.86	48.62	59.27	26.92	37.86	48.62	59.27
0, 0	1000	32.10	43.52	54.67	65.66	32.10	43.52	54.67	65.66
0, 0	500	26.99	37.93	48.69	59.33	30.56	41.79	52.69	63.43
12, -10	1000	32.32	43.70	54.84	65.81	36.84	48.26	49.43	70.43
50, -10	500	24.37	35.44	46.26	56.95	26.79	37.76	48.54	59.20
0, 0	1000	29.76	41.23	52.42	63.44	31.92	43.37	54.55	65.56
50, -10	500	24.57	35.59	46.39	57.07	31.61	42.59	53.38	64.05
12, 0.9	1000	30.09	41.50	52.65	63.64	37.15	48.55	59.70	70.70

Таблица 3 - Длины зон пластических деформаций при $H=1000\text{м}$, $2h=1\text{м}$, $x_1=30\text{м}$, $T_n=25\text{кГ/см}^2$, $c_p=0$, $T_n^1=50\text{кГ/см}^2$, $c_p^1=-10$, $T_n^2=12\text{кГ/см}^2$, $c_p^2=0.9$

$x_p^0, \text{м}$	$(x_2^0 - x_1), \text{м}$						$(x_2 - x_1), \text{м}$					
	$x_p, \text{м}$											
	30	32	34	36	38	40	30	32	34	36	38	40
30.0	13.52	13.58	13.64	13.69	13.73	13.77	13.52	14.62	15.69	16.73	17.73	18.69
30.4	13.04	13.11	13.17	13.22	13.26	13.30	13.48	14.59	15.66	16.70	17.70	18.66
30.8	12.58	12.64	12.70	12.75	12.80	12.84	13.45	14.56	15.63	16.67	17.67	18.63
31.2	12.12	12.19	12.24	12.30	12.34	12.38	13.42	14.53	15.60	16.64	17.64	18.60
31.6	11.67	11.74	11.80	11.85	11.90	11.93	13.40	14.50	15.58	16.61	17.61	18.58
32.0	11.23	11.30	11.36	11.41	11.46	11.50	13.37	14.48	15.55	16.59	17.59	18.55

На рис.2-5 построены изобары ($\sigma_y^e = const$ в окрестности выработанного пространства при $H=1000\text{ м}$, $2h=5\text{ м}$, $x_1=30\text{ м}$, $\lambda=0,9$, $c_r=0$, $T_n=25\text{ кГ/см}^2$. На рис.2 представлены изобары до применения технологических мероприятий. При искусственном уменьшении упругопластических свойств (рис.3) одной из зон пластических деформаций происходит уменьшение максимальных сжимающих напряжений и удаление их от забоя в глубь массива. В противоположной пластической зоне мы видим наоборот увеличение максимальных сжимающих напряжений, что обусловлено перераспределением опорного давления. В области свободно зависающей кровли мы видим увеличение растягивающих напряжений. При искусственном увеличении упругопластических свойств в одной из зон пластических деформаций (рис.4), мы видим уменьшение максимальных сжимающих напряжений. В области, где были увеличены упругопластические свойства, произошло увеличение сжимающих напряжений и их концентрация у

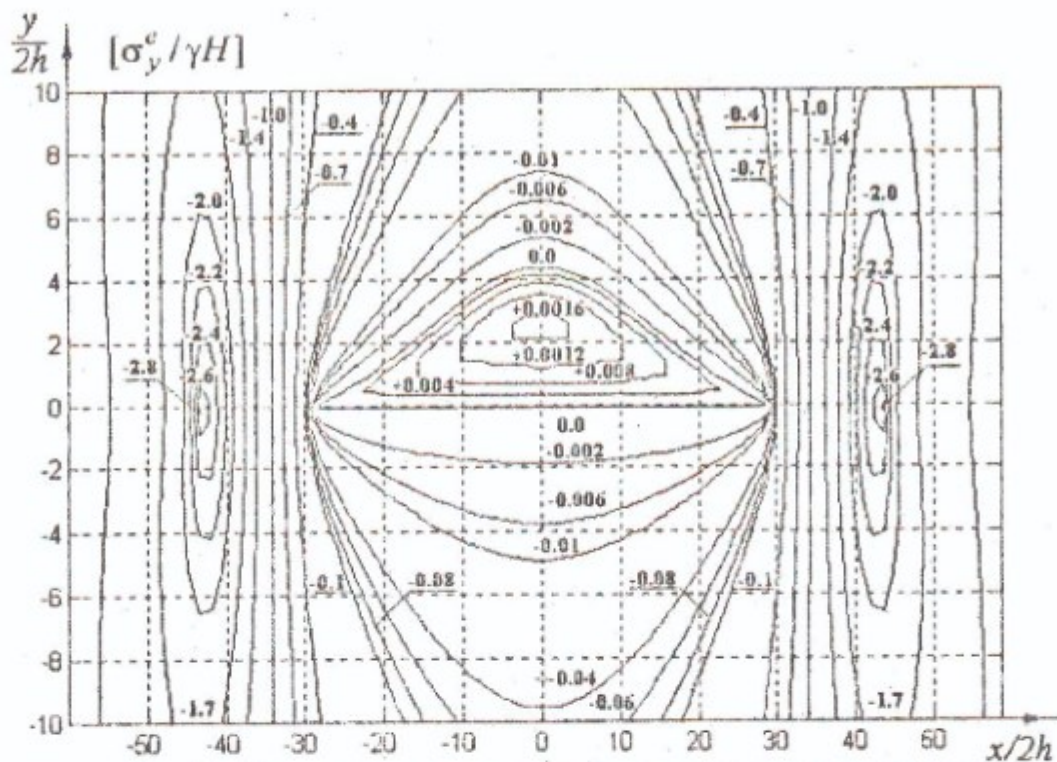


Рис. 2 - Линии постоянного значения компоненты напряжения $\sigma_y^e = const$ в окрестности выработанного пространства при $x_p^0 = x_p = 30$ м, $T_n^1 = T_n^2 = 0$, $c_p^1 = c_p^2 = 0$.

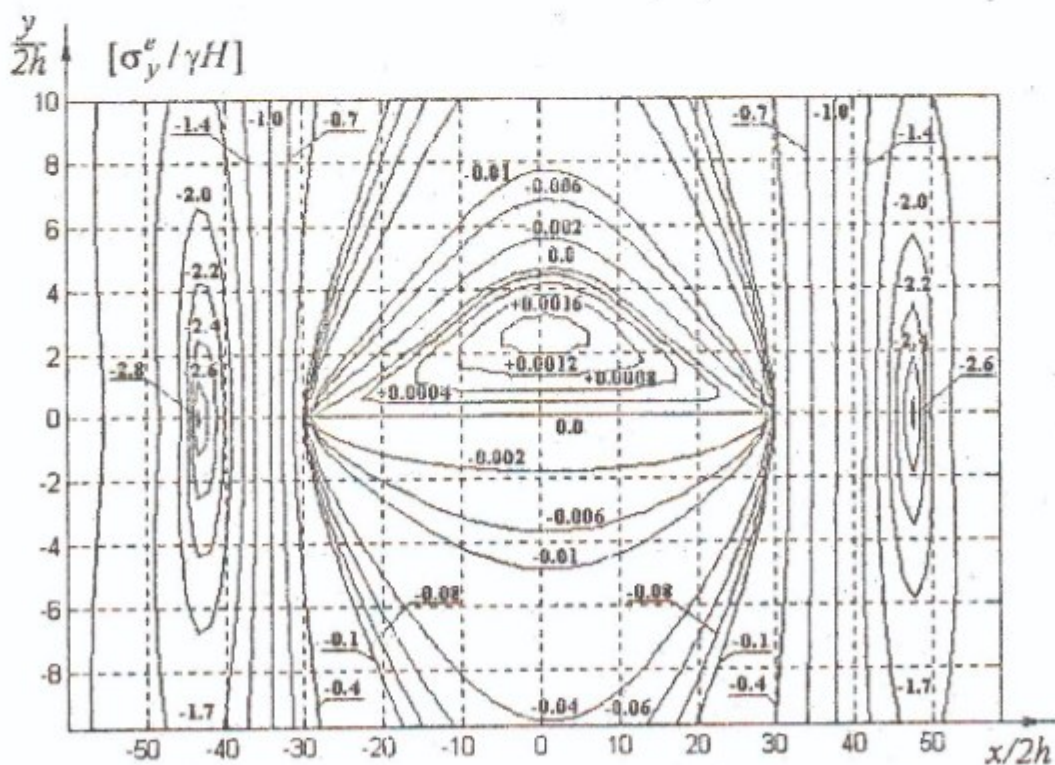


Рис. 3. То же, что на рис.2, но при $x_p^0 = 30$ м, $x_p = 40$ м, $T_n^1 = 0$, $T_n^2 = 12$ кг/см², $c_p^1 = 0$, $c_p^2 = -10$.

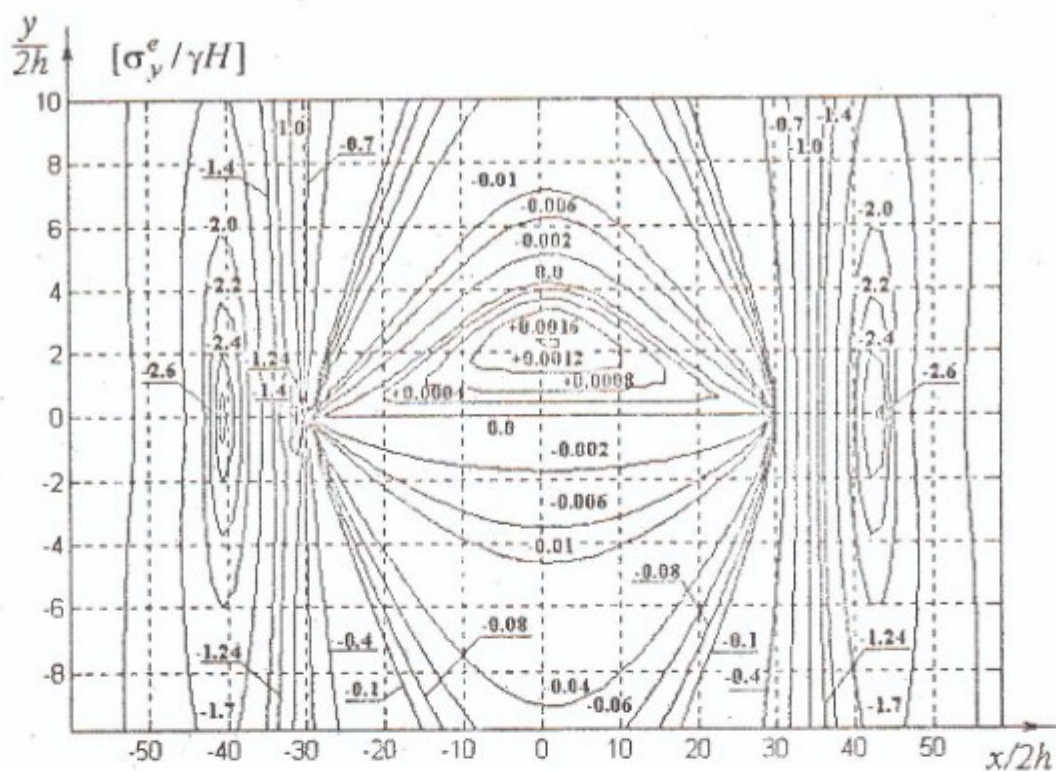


Рис. 4 - То же, что на рис. 2, но при $x_p^0 = 32$ м, $x_p = 30$ м,
 $T_n^1 = 50$ кГ/см², $T_n^2 = 0$, $c_p^1 = -10$, $c_p^2 = 0$.

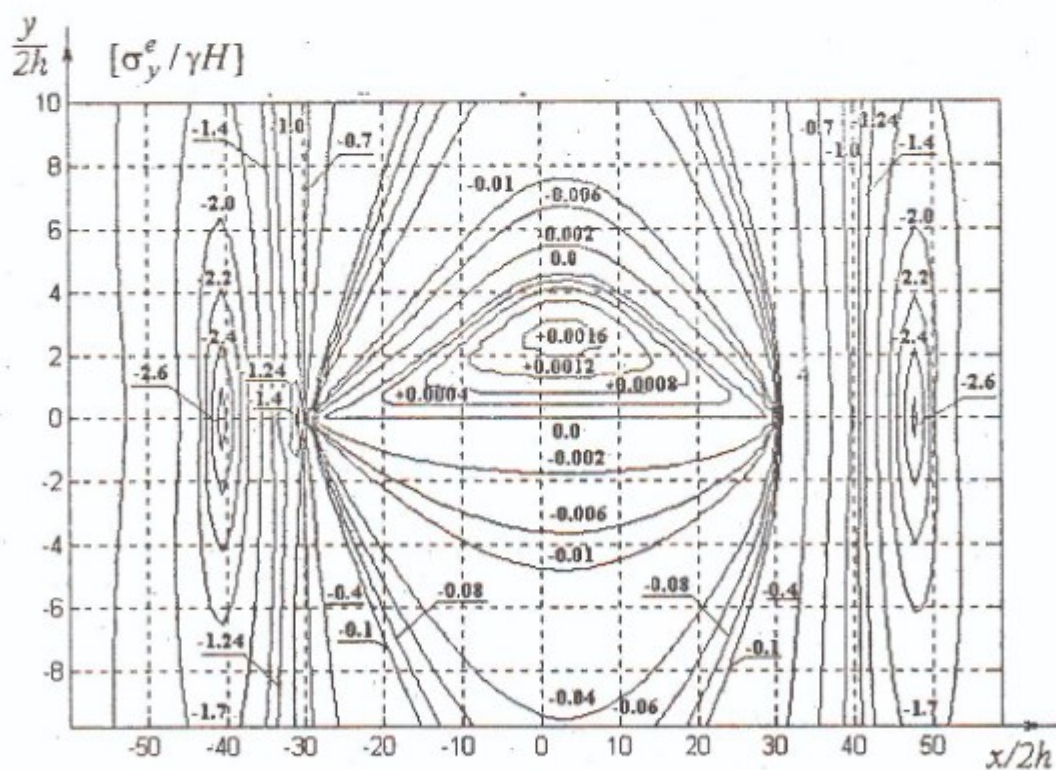


Рис. 5 - То же, что на рис. 2, но при $x_p^0 = 32$ м, $x_p = 40$ м,
 $T_n^1 = 50$ кГ/см², $T_n^2 = 12$ кГ/см², $c_p^1 = -10$, $c_p^2 = 0.9$.

краевой части пласта. Максимальные растягивающие напряжения над выработанным пространством уменьшились.

На рис.5 представлены изобары для случая комбинирования перечисленных выше технологических мер. Как видно из рисунка максимальные сжимающие напряжения уменьшаются и удаляются от забоя.

Искусственное изменение упругопластических свойств полезного ископаемого в краевых положениях забоя приводит к изменению напряженно-деформированного состояния массива горных пород, что дает возможность управлять горным давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Космодамианский А.С., Левшин А.А. Доклады АН УССР 9, 34, (1986).
2. Левшин А.А. Известия АН СССР. Механика твердого тела 5, 180 (1981)
3. Левшин А.А., Мануйленко Р.И., Федотов С.Н., Напряженно-деформированное состояние массива горных пород при разработке пласта полезного ископаемого с закреплением части выработанного пространства // Физика и техника высоких давлений. -1997, №2.-С.143-150.
4. Хилл Р. Математическая теория пластичности.-М.: Изд-во техн.-теорет. лит., 1956.

УДК 622.235.81

Э.И. Ефремов, А.С. Сторчак, А.И. Сердюк

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРЯЧЕЛЮЩИХСЯ ВВ В ОБВОДНЕННЫХ СУЛЬФИДОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ

Розглядаються можливості подальшого використання на залізрудних кар'єрах гарячельючогося ВР, застосування якого дозволяє вирішити дві основні проблеми найбільш застосовуваного зараз гранулолола: знизити вартість і підвищити екологічну безпеку.

Глубина железорудных карьеров Украины в настоящее время достигает 300-350 м. Как следствие, резко возросли объемы добычи крепких горных пород, обводненность которых составляет 60-70 %.

Современные ассортимент промышленных ВВ для отбойки крепких обводненных горных пород в основном ограничивается гранулололом и горячельющимися ВВ типа акватол Т-20. В ряде случаев в обводненных породах применяют граммонит 79/21, используя при этом водоизолирующие полиэтиленовые оболочки (рукава).

Применение гранулолола для отбойки пород ограничено двумя основными факторами: высокой стоимостью и выделением большого объема вредных газов (наиболее экологически вредное ВВ).

В этой связи в последние годы широкое распространение на железорудных карьерах Кривого Рога и Полтавского ГОКа получило горячельющееся ВВ типа ГЛТ-20, в состав которого входит только 20 % тротила.

Основная масса ГЛТ-20 представлена аммиачной селитрой. Наличие в составе ГЛТ-20 лишь 20 % тротила несомненно снизило энергетические параметры данного ВВ, что предопределило область его применения (породы средней крепости и крепких). Вместе с тем, присутствие в составе ГЛТ-20 аммиачной селитры при взрывании сульфидосодержащих пород может привести к самопроизвольной реакции между аммиачной селитрой и рудами с выделением зна-