

рід розкриття.

4) необхідна швидкість зниження гірничих робіт збільшується з глибиною кар'єру дискретно відповідно до скорочення доступної площі рудного покладу за рахунок її консервації під перевантажувальними пунктами комбінованого транспорту і наявності внутрішнього відвалоутворення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Арсентьев А.И. Определение возможной скорости понижения горных работ на карьерах // Горный журнал. – 1960. - №1. – С. 28-32.
2. А.И. Арсентьев, А.А. Ещенко, А.П. Бондарь. Установление возможной производительности и наилучшего развития горных работ карьера Ингулецкого ГОКа. – Труды НИСа КГРИ, Кривой Рог, 1961.
3. Красовский В.Г., Драчев В.Г., Кочешков Е.В., Саканцев Г.Г. Исследование интенсивности и границ открытой разработки Карагайского месторождения магнетитов/ИГД МЧМ СССР. Сборник трудов.- Свердловск, 1983, вып. 72 – С.44-49.
4. Кашпар Л.Н., Дервяшкин И.В. Анализ математической модели определения темпа углубления горных работ /Научные проблемы горного производства: Сб. статей Моск. гос. горн. ун-т.: Изд-во МГГУ.-200.- С.259-264.
5. Арсентьев А.И., Шпанский О.В., Константинов Г.П. Определение главных параметров карьера.- М.: Недра, 1976.- 214 с.
6. Четверик М.С., Медведева О.А. Производственная мощность глубоких карьеров и технологические комплексы. // Матеріали міжнародної конференції „Форум гірників – 2005”, том 4. – Дніпропетровськ. :НГУ, 2005.-С. 219-229.
7. Четверик М.С., Лашко В.Т. Методика определения производительности карьера при разработке крутопадающих залежей.-К: Наукова думка, 1981, 22с.
8. Медведева О.А. Производительность по руде и вскрышным породам горнотранспортных комплексов карьера. / Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.- г. Днепропетровск.-2003.-№47.- С. 272-277.
9. Медведева О.А. Определение скорости понижения горных работ на глубоких карьерах. / Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.- г.Днепропетровск.-2005.-№55.- С. 164-169.

УДК 622.235.3(088.8)

инж. I кат. А.В. Пазынич,
с.н.с В.И. Косенко, с.н.с. Г.И. Ларионов
(ИГТМ НАН Украины)

АСИММЕТРИЧНЫЕ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ВО ВЗРЫВНОЙ ПОЛОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Наведено результати досліджень асиметричного вибухового імпульсу. Показано вплив асиметричного імпульсу на поле напруги навколо вибухової порожнини.

ASYMMETRIC STRESS FIELDS IN THE EXPLOSIVE CAVITY FOR EFFICIENCY SPLITTING ROCKS INCREASING

The investigation results of asymmetric blast impulse are presented. The asymmetric impulse influence on the stress field is demonstrated.

Основными проблемами при разрушении горных пород шпуровыми и скважинными зарядами являются безопасность работ, эффективность дробления и низкий коэффициент полезного действия взрыва.

Одной из причин некондиционного дробления горной массы является использование конструкций скважинных зарядов с симметричной формой гене-

рирования взрывного импульса на первом этапе детонационного процесса в колонке заряда.

Попытки использовать поперечное инициирование при прокладке детонирующего шнура у тыльной стенки скважины с использованием аммонита №6ЖВ давали незначительный эффект улучшения качества дробления. Поэтому целесообразно использовать новые безопасные ВВ и формировать асимметричный газодинамический процесс в колонке скважинного заряда и ориентировать его большим потенциалом в сторону линии наименьшего сопротивления на уступе. Это создаёт условия для формирования в горном массиве неравномерного динамического поля напряжений с преобладающим количеством сдвиговых напряжений на стыке максимальных и минимальных напряжений.

Для увеличения продолжительности взрывного нагружения горного массива необходимо создать условия для запираения продуктов взрыва в верхней части колонки заряда. Наиболее эффективно это можно осуществить путём размещения в забойке удлинённого кумулятивного заряда с поперечным сечением, составляющим 9–17% от площади поперечного сечения скважины и длиной, равной половине длины забойки [1, 2].

Рассмотрим качественное изменение поля напряжений при взрыве скважинного заряда асимметричного действия.

Математическая постановка задачи состоит из системы дифференциальных уравнений плоской деформации и граничных условий I типа (нагрузки).

Дифференциальные уравнения плоской деформации при отсутствии внешних сил имеют вид:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = 0$$

$$\sigma_{xx} = \lambda \theta + 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x},$$

$$\sigma_{yy} = \lambda \theta + 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y},$$

$$\sigma_{xy} = \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right), \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y};$$

где λ, μ – константы Ляме, равные

$$\lambda = \frac{2G\nu}{1-2\nu}, \quad \mu = G,$$

где G – модуль Гука, равный

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

где E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона.

Из уравнения совместности деформаций следует уравнение

$$\Delta(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) = 0. \quad (3)$$

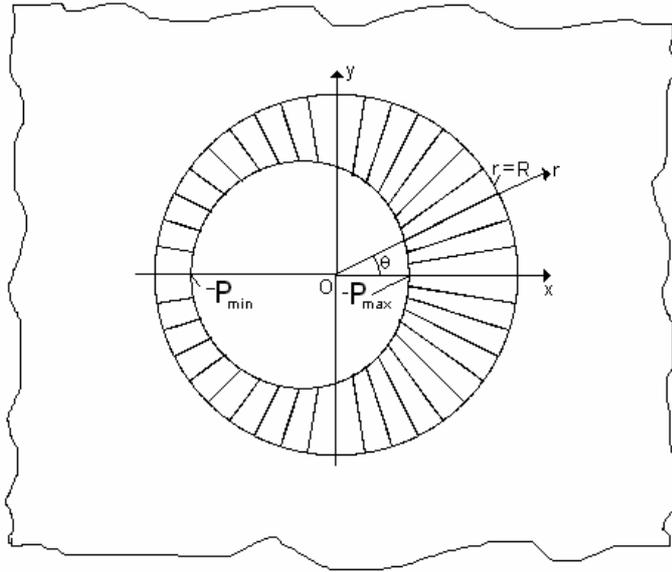


Рис. 1 - Поле напряжений на границе взрывной полости

Распределение нагрузок на границе взрывной полости имеет вид (Рис. 1):

$$N = -\left(\frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} + \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2} \cos(\theta)\right), \quad (4)$$

$$T = 0;$$

где N , T - нормальная и касательная компоненты нагрузки, P_{\max} , P_{\min} – максимальное и минимальное значение нагрузки, знак " – " показывает, что нагрузка - сжимающая и направлена в пласт.

На бесконечности нагрузки отсутствуют.

Введя обозначения

$$P_c = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2},$$

$$\delta = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}},$$

где P_c – среднее давление, δ – параметр асимметрии,
можно записать

$$N = -P_c(1 + \delta \cdot \cos(\theta)).$$

Пользуясь методом, описанным в работе [3], получим выражения для напряжений

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= -P_c \left(\left((3-2\nu)\frac{R}{r} + (1-2\nu)\left(\frac{R}{r}\right)^3 \right) \frac{\cos(\theta)}{4(1-\nu)} \cdot \delta + \left(\frac{R}{r}\right)^2 \right) \\ \sigma_{\theta\theta} &= P_c \left(\left(\frac{R}{r} + \left(\frac{R}{r}\right)^3 \right) \frac{1-2\nu}{4(1-\nu)} \cos(\theta) \cdot \delta + \left(\frac{R}{r}\right)^2 \right) \\ \sigma_{r\theta} &= P_c \left(\frac{R}{r} - \left(\frac{R}{r}\right)^3 \right) \frac{1-2\nu}{4(1-\nu)} \sin(\theta) \cdot \delta \end{aligned} \quad (5)$$

и смещений

$$\begin{aligned} u_r &= \frac{P_c R(1+\nu)}{E} \left(\left(1 - (6-8\nu)\ln\left(\frac{r}{R}\right) + (1-2\nu)\left(\frac{R}{r}\right)^2 \right) \frac{\cos(\theta)}{8(1-\nu)} \cdot \delta + \frac{R}{r} \right) \\ u_\theta &= \frac{P_c R(1+\nu)}{E} \left(1 + (6-8\nu)\ln\left(\frac{r}{R}\right) + (1-2\nu)\left(\frac{R}{r}\right)^2 \right) \frac{\sin(\theta)}{8(1-\nu)} \cdot \delta \end{aligned} \quad (6)$$

Случай равномерного давления приведен в работе [3] и отличается от вышеуказанного равенством нулю параметра δ .

Для расчёта были приняты следующие данные: $E=5 \cdot 10^4$; $\nu=0,4$; $\delta=0,5$; $R=1$.

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= -p(\cos(\theta) \cdot \delta + 1) & u_r &= \frac{pR(1+\nu)}{4E} (\cos(\theta) \cdot \delta + 4) \\ \sigma_{\theta\theta} &= p \left(\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \cos(\theta) \cdot \delta + 1 \right) & u_\theta &= \frac{pR(1+\nu)}{4E} \sin(\theta) \cdot \delta \\ \sigma_{r\theta} &= 0 \end{aligned}$$

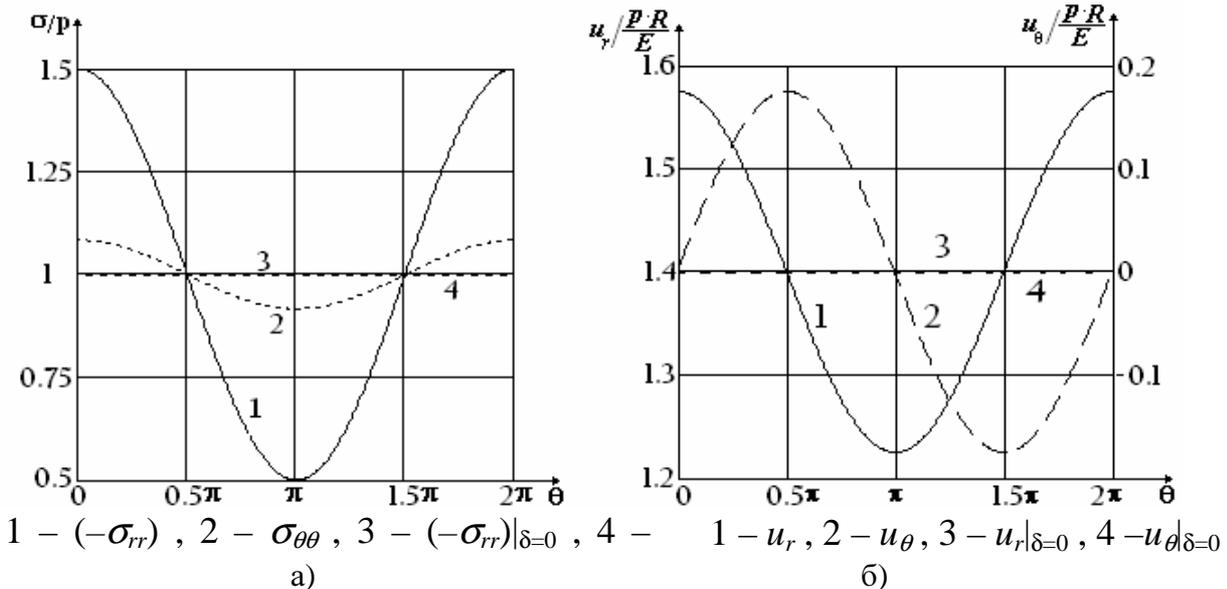


Рис. 2 - Напряжения (а) и смещения (б) на границе взрывной полости

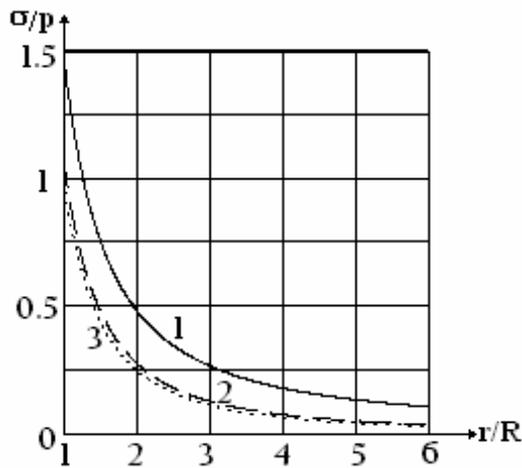
$$\sigma_{rr} = -p \left(\frac{R^2}{r^2} + \frac{\delta}{4(1-\nu)} \left((1-2\nu) \frac{R^3}{r^3} + (3-2\nu) \frac{R}{r} \right) \right)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = p \left(\frac{R^2}{r^2} + \frac{(1-2\nu)\delta}{4(1-\nu)} \left(\frac{R}{r} + \frac{R^3}{r^3} \right) \right)$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

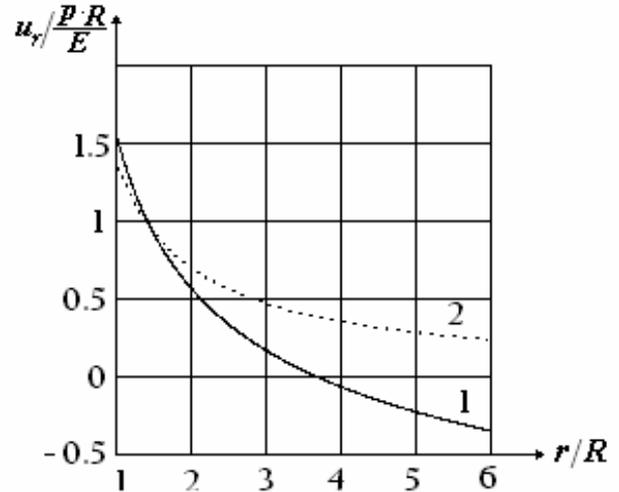
$$u_r = \frac{pR(1+\nu)}{E} \left(\left(\left(1 + (1-2\nu) \frac{R^2}{r^2} \right) - (6-8\nu) \ln \left(\frac{r}{R} \right) \right) \frac{\delta}{8(1-\nu)} + \frac{R}{r} \right)$$

$$u_{\theta} = 0$$



1 - $(-\sigma_{rr})$, 2 - $\sigma_{\theta\theta}$, 3 - $\sigma_{\theta\theta}|_{\delta=0}$

а)



1 - u_r , 2 - $u_r|_{\delta=0}$

б)

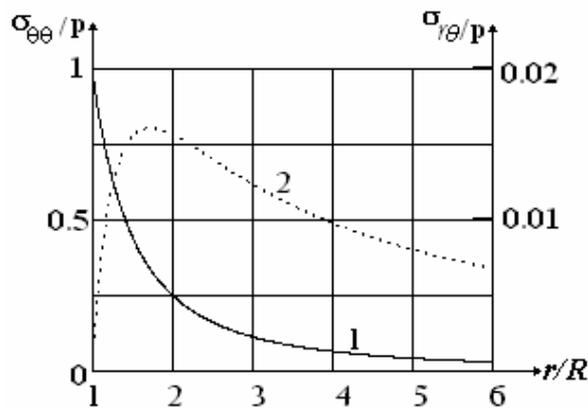
Рис. 3 - Напряжения (а) и смещения (б) на оси Ox^+

$$\sigma_{\theta\theta} = -\sigma_{rr} = p \frac{R^2}{r^2}$$

$$\sigma_{r\theta} = p \frac{(1-2\nu)\delta}{4(1-\nu)} \left(\frac{R}{r} - \frac{R^3}{r^3} \right)$$

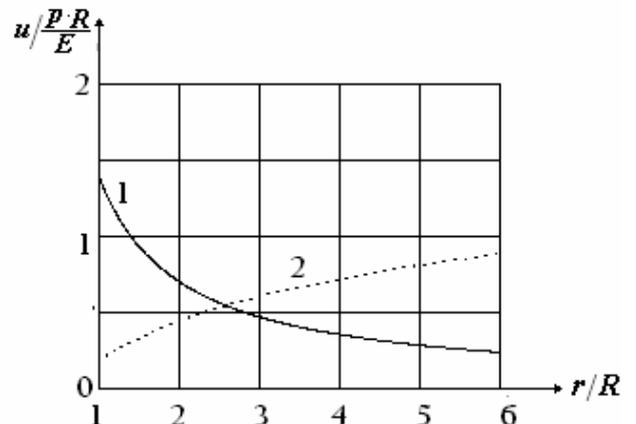
$$u_{\theta} = \frac{pR(1+\nu)\delta}{8(1-\nu)E} \left(1 + (1-2\nu) \frac{R^2}{r^2} + (6-8\nu) \ln \left(\frac{r}{R} \right) \right)$$

$$u_r = \frac{pR(1+\nu)R}{E r}$$



1 - $\sigma_{\theta\theta}$, 2 - $\sigma_{r\theta}$

а)



1 - u_r , 2 - u_{θ}

б)

Рис. 4 - Напряжения (а) и смещения (б) на оси Oy

$$\sigma_{rr} = -p \left(\frac{R^2}{r^2} - \frac{\delta}{4(1-\nu)} \left((1-2\nu) \frac{R^3}{r^3} + (3-2\nu) \frac{R}{r} \right) \right)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = p \left(\frac{R^2}{r^2} - \frac{(1-2\nu)\delta}{4(1-\nu)} \left(\frac{R}{r} + \frac{R^3}{r^3} \right) \right)$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

$$u_r = \frac{pR(1+\nu)}{E} \left(\left((6-8\nu) \ln \left(\frac{r}{R} \right) - \left(1 + (1-2\nu) \frac{R^2}{r^2} \right) \right) \frac{\delta}{8(1-\nu)} + \right.$$

$$\left. u_\theta = 0 \right)$$

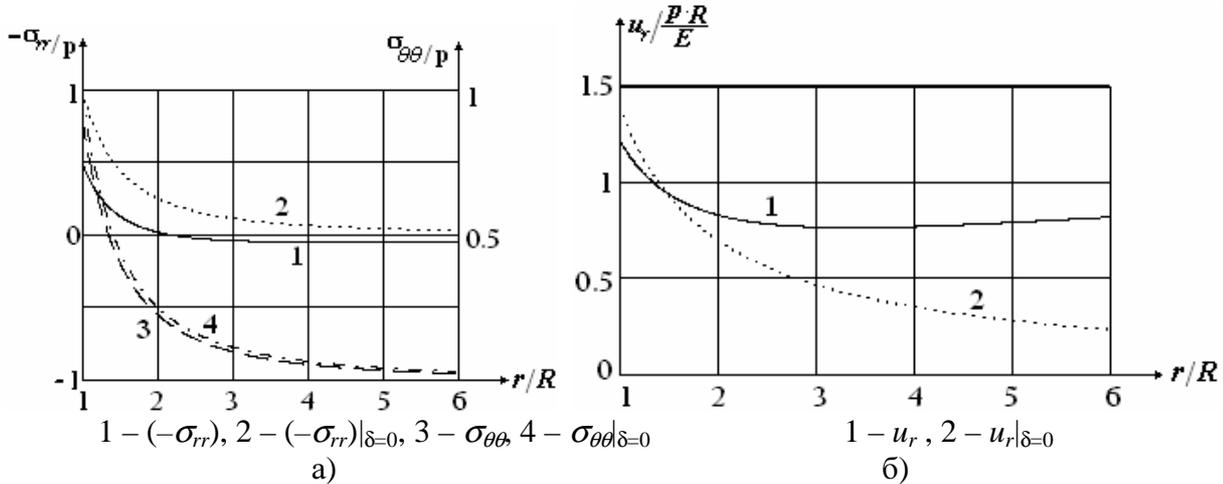


Рис. 5 - Напряжения (а) и смещения (б) на оси Ox

Анализ полученных результатов дает основания утверждать (рис. 2-5) о качественном изменении напряженно-деформированного состояния массива в окрестности взрывной полости асимметричного заряда. Появление касательных напряжений в массиве подтверждает факт, полученный из опыта применения асимметричных зарядов на гранитных и железорудных карьерах Украины, выход негабаритных фракций в разрушенной горной массе был уменьшен в 1,5-2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. №1240120, СССР, МКИ E21C 37/00. Способ создания скважинного заряда для отбойки горных пород./Косенко В.И., Заявл. № – Оpubл. 23.06.1986. – БИ №23.
2. Патент № 83935, Украина, Кумулятивный асимметричный свердловинный заряд/Косенко В.И. – Заявка № - Оpubл. – Бюл. №.
3. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М., Наука, 1966, 707 с.