

УДК 622.013.364

**И.С. Матвеев**

## **ДЕФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА В РУДНОМ МАССИВЕ В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ**

*Приведено аналитическое решение процесса деформирования цилиндра-трубы в упруго-пластической среде под действием взрыва заряда ВВ для закрепления рудного массива при системе разработки подэтажного обрушения.*

*Ключевые слова: металлический цилиндр-труба, взрывчатое вещество, деформирование.*

---

**П**овышение показателей извлечения руды на стадии ведения очистных работ возможно путем временного укрепления массива через взрывные скважины металлическими перфорированными трубами в лежачем боку залежи в местах богатой по содержанию полезным компонентом руды без изменения принятых параметров горизонта выпуска, в частности, для условий сульфидных медно-никелевых руд Ждановского месторождения и месторождения Шануч. Это позволит на первой стадии отработки горизонта снизить разубоживание богатой руды, но для этого необходимо исследовать деформирование металлического цилиндра-трубы при его взрывном нагружении в верхней части взрывной скважины.

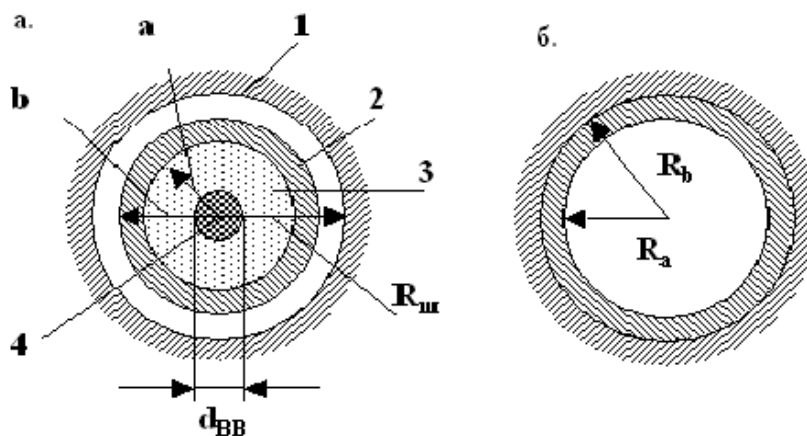
Исследование и аналитическое описание процесса деформирования металлического цилиндра в породном массиве под действием энергии взрыва заряда ВВ представляют существенный интерес, поскольку имеется ряд практических приложений рассматриваемой задачи при решении вопросов устойчивости породных и рудных обнажений.

Общая расчетная схема процесса представлена на рисунке. В пробу-

ренную скважину устанавливают металлический цилиндр, во внутренней полости которого размещены линейный заряд ВВ и заполнитель (см. рисунок, а). Под действием энергии взрыва цилиндр, пластически деформируясь, входит в контакт со вмещающими скважину породами, что обеспечивает его закрепление (см. рисунок, б).

Основным критерием оптимизации параметров процесса является условие достижения максимальной прочности закрепления цилиндра в породном массиве, которое можно интерпретировать как создание на контакте «цилиндр - порода» максимально допустимых радиальных напряжений, не приводящих к разрушению приконтурного породного слоя.

Аналитическая модель процесса динамического взаимодействия системы «цилиндр - порода» построена с использованием основных допущений, сформулированных в работах [1], процесс передачи энергии взрыва металлическому цилиндру протекает мгновенно и заключается в создании начального поля скоростей его деформирования, при дальнейшем расширении цилиндра давление на его внутренней поверхности исчезает;



**Схема закрепления цилиндра во взрывной скважине:** а – положение до взрыва заряда ВВ; б – после взрыва; 1 – скважина; 2 – цилиндр; 3 – наполнитель; 4 – заряд ВВ

материал цилиндра при пластическом деформировании несжимаем.

Динамическое уравнение расширения цилиндра для конечных деформаций имеет вид:

$$R_a \cdot \ln \frac{R_B}{R_a} \cdot \frac{d}{dR_a} \left( \frac{V}{2} \right)^2 + \frac{V^2}{2} \cdot \left( \ln \frac{R_B^2}{R_a^2} + \frac{R_B^2}{R_a^2} - 1 \right) = \quad (1)$$

$$= \frac{1}{n} \left[ P_a(R_a) - P_B(R_a) - 2 \int_{R_a}^{R_B} \frac{\tau(\gamma)}{r} dr \right]$$

где  $V$  – скорость расширения полости цилиндра;  $R_B$  и  $R_a$  – текущие наруж-

ный и внутренний радиусы цилиндра;  $r$  – радиальная координата;  $\tau(\gamma)$  – функция упрочнения материала цилиндра;  $\gamma$  – деформация сдвига;  $P_B$  и  $P_a$  – наружное и внутреннее давления на поверхность цилиндра;  $\rho$  – плотность материала цилиндра.

Уравнение (1) определяет скорость движения цилиндра от энергетических характеристик ВВ, но не раскрывает напряженного состояния закрепления цилиндра и геометрические параметры закрепления, т.е. необходимо определить значения  $\tau(\gamma)$ ,  $P_B(R_a)$  и  $P_a(R_a)$ . Для этого надо провести дополнительные исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симанович Г.А. Деформирование металлического цилиндра в породном массиве в условиях динамического нагружения – Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, Наука, 1988, №1, с.10-14. **ИТАЭ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Матвеев Илья Сергеевич – аспирант, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, office@msgpa.edu.ru



УДК 622.013.364

**И.С. Матвеев****ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВРЕМЕННОГО  
ЗАКРЕПЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА  
ЧЕРЕЗ ВЗРЫВНЫЕ СКВАЖИНЫ  
В РУДНОМ МАССИВЕ**

*Получено уравнение, позволяющее оптимизировать параметры силового взаимодействия цилиндра с вмещающими скважинами породным массивом.*

*Ключевые слова: металлический цилиндр-труба, параметры закрепления, деформирование цилиндра и пород.*

**Д**ля рудных месторождений с неравномерным распределением полезного компонента в контуре рудного тела решением задачи снижения потерь и разубоживания при использовании систем с обрушением руды и вмещающих пород может стать применение комбинированных систем разработки со стадийной выемкой полезного ископаемого без изменения подготовки горизонта. Это возможно, когда отработка горизонта системой с поэтажным обрушением ведется в несколько стадий. Вначале вынимается богатая руда с временным поддержанием кровли камеры от лежащего бока залежи, а затем, когда содержание полезного компонента уменьшилась обычным способом с обрушением руды и вмещающих пород. Для первой стадии необходимо поддержать кровлю камеры и при этом снизить разубоживание вынимаемой богатой руды вмещающими породами. С этой целью применяются взрывные скважины, в верхней части которых закрепляются металлические цилиндры-трубы, закрепляемые предварительным взрывом зарядов ВВ, расположенных на концах скважин. Но при этом необходимо определить параметры закрепления цилиндров и

энергетические характеристики предварительного взрыва.

Исследования [1] высокоскоростного нагружения металлов, наиболее широко употребляемых для изготовления цилиндров, показали, что диаграммы взрывного нагружения этих металлов, описываемые функцией  $\tau(\gamma)$ , близки к диаграмме идеально пластичного тела, и их с точностью до 5—7% можно описать уравнением идеальной пластичности:

$$\tau(\gamma) = 0,58 \cdot \beta \cdot \sigma_{ст}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{ст}$  - статический предел текучести материала цилиндра;  $\beta$  - коэффициент пропорциональности между динамическим и статическим пределами текучести [1].

Определим напряженно-деформированное состояние вмещающего скважину породного массива в окрестности горизонтальной выработки арочного вида. Для упрощения решения принято допущение о плоской деформации массива в направлении оси скважины, поскольку в большинстве случаев изменение осевой компоненты на длине, равной диаметру скважины, весьма незначительно и не превышает, как правило, 3 - 4%.

Физическую нелинейность упруго-пластического массива аппроксимируем степенной зависимостью вида:

$$\sigma_i = E \cdot \xi \cdot \varepsilon_i^{1-m}, \quad (2)$$

где  $m$  и  $\beta$  - коэффициенты аппроксимации ( $0 \leq m \leq 1$ ,  $\xi \leq 1$ );  $E$  - модуль упругости породы;  $\varepsilon_i$  - интенсивность деформации. Для решения поставленной задачи используем функцию напряжений, включающую три стандартные функции [2], описывающие три составляющие напряженного состояния породного массива вокруг скважины - полярную асимметрию, физическую нелинейность деформационных свойств массива и его начальное напряженное состояние, характеризующее концентрацией напряжений от проведения горизонтальной цилиндрической выработки (определяется известным решением [2]).

Максимальное давление  $P_B^{\max}$  на контур для устойчивого закрепления цилиндра-трубы:

$$P_e^{\max} = A + \frac{\sigma_c}{2(1-m)} \exp \left[ \frac{2(1-m)}{P_e^{\max}} A + 2m - 1 \right];$$

$$A = \gamma H \frac{(1+\lambda)(1-m) - 2(1-\lambda)\cos 2\theta}{2(1-m)}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  - удельный вес пород;  $H$  - глубина разработки;  $\theta$  - угол между действующими напряжениями;  $\lambda$  - коэффициент бокового распора

Полученные уравнения (1-3) устанавливают взаимосвязь между параметрами заряда ВВ, выраженными через интегральную характеристику - начальную скорость расширения полости цилиндра, физико-механическими свойствами и геометрическими параметрами системы «цилиндр - порода» и позволяет оптимизировать конструкцию заряда ВВ, обеспечивающую установку цилиндра в скважине с максимальной прочностью закрепления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орленко Л.П. Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках - М: Машиностроение, 1984.
2. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. - М.: Недра, 1975.

ИЛБ

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Матвеев Илья Сергеевич - аспирант, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, office@msgpa.edu.ru

