

Математическое моделирование импульса взрыва смежных зарядов для направленного разрушения горных пород

Ж.Г.ДАМБАЕВ

Бурятский государственный университет

e-mail: g.dambaev@rambler.ru

Для решения задачи применяется численный метод решения уравнений динамической теории упругости и рассматривается взаимодействие волн напряжений между смежными цилиндрическими полостями с соответствующими граничными условиями, т.е. как показано на рис.1.

1 – цилиндрическая полость; 2 – ось симметрии между системами цилиндрических полостей; 3 – ось симметрии между двумя соседними (смежными) цилиндрическими полостями; 4 – ось симметрии между отбиваемым блоком и массивом горной породы; 5 – граница свободной поверхности.

Для численного решения данной задачи используются уравнения движения механики деформируемого твердого тела:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= \rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} &= \rho \frac{\partial^2 V}{\partial t^2};\end{aligned}\quad (1)$$

а также обобщенный закон Гука и уравнения Коши:

$$\sigma_x = \lambda \varepsilon + 2\mu \varepsilon_x;$$

$$\sigma_y = \lambda \varepsilon + 2\mu \varepsilon_y;$$

$$\tau_{xy} = 2\mu \varepsilon_{xy};$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y};$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right);$$

$$\varepsilon = \varepsilon_x + \varepsilon_y$$

где σ_x, σ_y – компоненты напряжений по осям X и Y; τ_{xy} – касательное напряжение; U, V – компоненты вектора смещения по осям X и Y; t – время; ρ – плотность горной породы; λ, μ – упругие константы Лямэ [1].

Граничные условия:

$\sigma_x|_{x=r_0} = -P(t), \sigma_y|_{y=r_0} = -P(t)$ – на стенке зарядной камеры (позиция 1 на рис.1), где r_0 – радиус зарядной полости, $P(t)$ – давление в зарядной плоскости;

$\sigma_y|_{y=W} = 0, \tau_{xy}|_{y=W} = 0$ – на свободной поверхности (позиция 5 на рис.1);

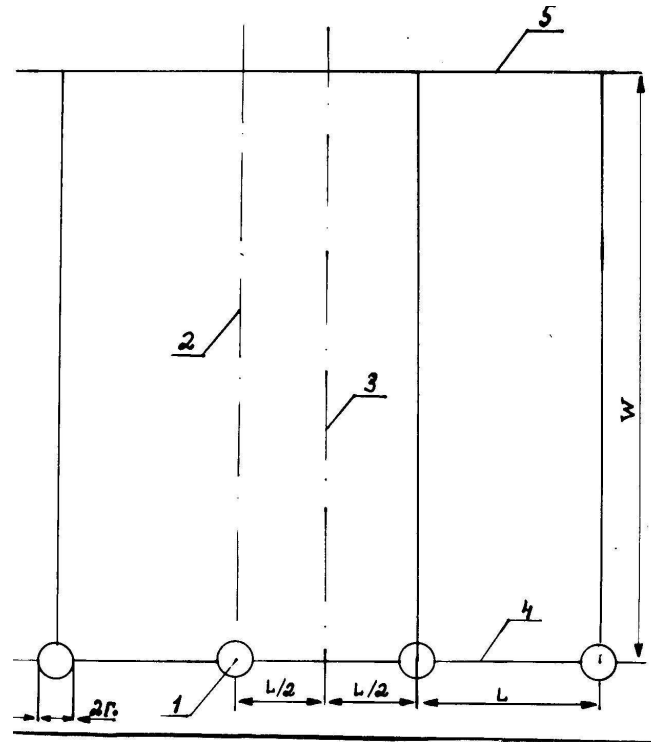


Рис. 1. Схема расположения цилиндрических зарядов

$\frac{\partial U}{\partial x} = 0$ при $x = 0$, $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$ при $x = \frac{L}{2}$ – при взаимодействии волн напряжений между смежными зарядными полостями, т.е. на оси симметрии (позиции 2, 3 на рис. 1), где L – расстояние между зарядными полостями;

$\frac{\partial V}{\partial y} = 0$ при $y = 0$ – по линии расположения зарядов (позиция 4 на рис 1).

Для решения уравнений гиперболического типа использовались разностные схемы типа «крест» с использованием нецентральной схемы Маккормака. Этот метод дает хорошие результаты при расчете движений сплошной среды и динамический процесс интерференций волн напряжений близок к реальной картине.

В настоящее время подробно исследован вопрос для мгновенного создания давления в полости зарядной камеры, т.е. при стационарном давлении [2].

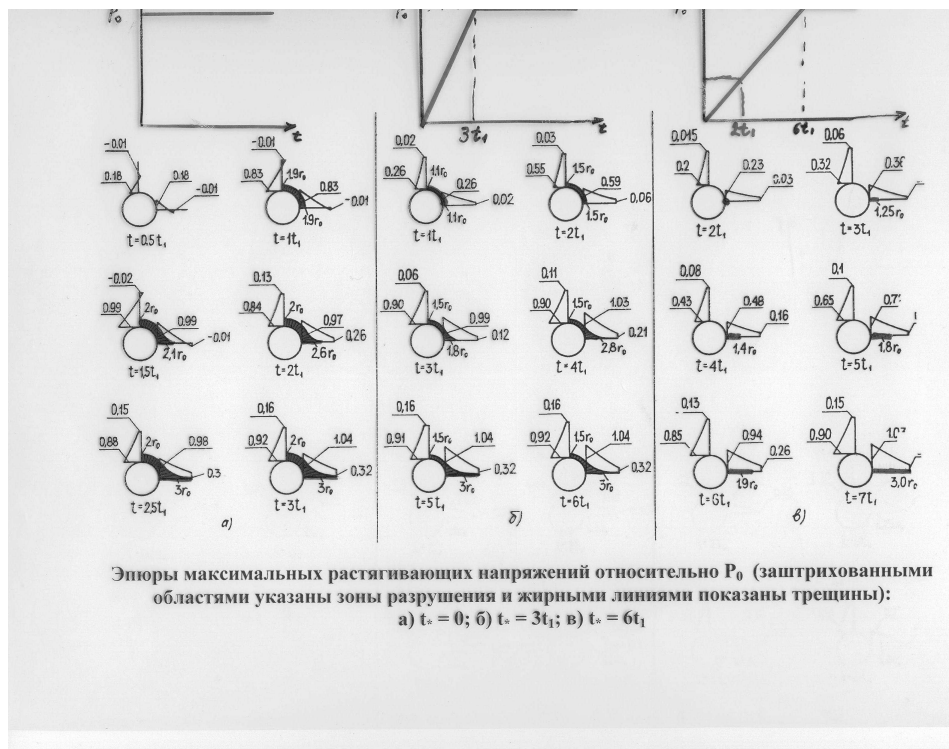
При взрыве в горной породе динамическая нагрузка внутри зарядной камеры, т.е. граничные условия с учетом изменения давления во времени, моделируется следующим образом:

$$P(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \frac{P_0}{t_*} \cdot t, & 0 \leq t \leq t_* \\ P_0, & t_* \leq t \leq t_k \end{cases},$$

где t – текущее время; t_* – время нарастания давления (оптимизирующий параметр); t_k – конечное время; P_0 – максимальное давление.

Результаты численного расчета напряженного состояния по линии расположения зарядов и в ортогональных направлениях представлены при $t_* = 0, 3t_1, 6t_1$, где $t_1 = \frac{L}{2A_p}$; c_p – скорость распространения продольных волн в горной породе. На рис. 2 представлены эпюры растягивающих напряжений и возможные зоны разрушения горных пород вокруг зарядных камер.

На рис. 2(а) представлены результаты расчетов эпюр растягивающих напряжений



при $t_* = 0$ и показаны при $t < t_1$ симметричное распространение расходящихся цилиндрических волн напряжений вокруг зарядных полостей, а при $t > t_1$ нарушается симметричность волн напряжений и образуется асимметрия. В результате интерференции волн напряжений между смежными зарядами формируется увеличение растягивающих напряжений по линии расположения и при $t > 3t_1$ уменьшаются растягивающие напряжения в ортогональных направлениях, т.е. формируется перераспределение эпюр растягивающихся напряжений вокруг зарядных полостей.

При изменении формы импульса взрыва (рис.2 б), когда время нарастания составляет $t_* = 3t_1$, имеет место уменьшение главных компонент напряжений в ортогональных направлениях, проявляющие при $t > 3t_1$ некоторое снижение уровня напряжений в ортогональных направлениях и увеличение растягивающей компоненты напряжений по линии расположения зарядов. В этом случае, наблюдается снижение разрушающего действия вокруг зарядных полостей и проявляется возникновение асимметричных полей напряжений в меньшей степени.

Дальнейшее увеличение времени t_* нарастания давления принципиально не меняет характера распределения напряжений (рис.2 в), однако асимметрия поля напряжений проявляется еще меньшей степени. При оптимизации динамических нагрузок необходимо появление эффекта зарождения (старт) радиальных трещин по линии расположения зарядов и тем самым увеличивается вероятность сохранности законтурного массива [3].

Численные результаты (рис.2) подтверждают, что режим взрывного нагружения массива горных пород существенно влияет на процесс формирования динамического напряженно-деформированного состояния массива и результаты нарушения законтурного массива представлены:

по первой схеме – мгновенное взрывчатое превращение, т.е. когда давление выравнивается мгновенно во всем объеме зарядной камеры;

по второй схеме - медленное взрывчатое превращение, связанное с кинетикой разложения, т.е. когда заряд взрывчатого вещества детонирует также мгновенно, но еще сказывается скорость нарастания давления продуктов взрыва в зарядной камере;

по третьей схеме – имеет место еще более медленное взрывчатое превращение, чем в предыдущем случае, при этом процесс определяется кинетикой взрывчатого превращения.

Учитывая, что для крепких горных пород (гранит, мрамор) критические растягивающие напряжения в 10-12 раз меньше, чем критические сжимающие напряжения, то для сохранности законтурного массива необходимо, чтобы давление в зарядных камерах не превышало предела прочности на сжатие.

Основные результаты:

1. Показано, что асимметричное поле напряжений вокруг зарядных полостей формируется за счет взаимодействия волн напряжений между смежными зарядами и увеличения растягивающихся напряжений по линии расположения зарядных камер.
2. Установлено, что при увеличении начальной фазы импульса взрыва в полости зарядных камер более вероятно проявляется эффект зарождения направленной радиальной трещины по линии расположения зарядов, т.е. за счет создания критической асимметрии эпюр растягивающих напряжений по линии расположения зарядов.

Список литературы

- [1] Никифоровский В.С., Шемякин Е.И. ДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ. Новосибирск, Наука, 1979 . -271с.
- [2] Родионов В.Н., Адушкин В.В. и др. МЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПОДЗЕМНОГО ВЗРЫВА. М., «Недра», 1971г. -284с.
- [3] Дамбаев Ж.Г. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ. ВНИМИ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 1999, -120с.
- [4] Парамонов Г.П., Ковалевский В.Н., Дамбаев Ж.Г. Оценка динамического воздействия на массив взрыва шпуровых удлиненных кумулятивных зарядов с демпфирующей прокладкой. Взрывное дело. 2011. №106-63. с.92-99.