

2 При активно ведущейся разработке градостроительных планов развития областных и районных центров (промышленных и транспортных узлов), как основных опорных пунктов системы расселения Республики Беларусь, следует учитывать и отражать в утверждаемых частях этих проектов положения национальной Программы развития логистической системы Республики Беларусь с учётом сложившихся и складывающихся взаимосвязей экономических пространств Европейского и Азиатского регионов.

3 Транспортно-логистические комплексы относятся к новым современным формам межотраслевого производства. Их архитектурно-планировочное решение активно влияет на создание архитектурного облика городов.

УДК 624.39.239

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРОМ КОЛЕБАНИЙ

В. В. БОЙКО, Д. А. РЕМЕЗ

Институт гидромеханики НАН Украины, г. Киев

В работе проведено численное моделирование действия взрыва группы зарядов цилиндрической симметрии в горном массиве, при этом в развитии взрыва выделяются два этапа.

На первом этапе рассматривается взрыв цилиндрического заряда взрывчатого вещества (ВВ) длиной l и радиусом r_0 , который детонирует мгновенно в неограниченном грунтовом массиве. При этом по всему объему заряда устанавливается одинаково высокое давление P_n и плотность продуктов детонации (ПД) ρ_n равная начальной плотности ВВ.

Уравнения движения (ПД) и горной породы для цилиндрической симметрии имеют следующий вид [1]:

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} = \rho \frac{du}{dt}, \quad u = \frac{dz}{dt}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial r} + \frac{\sigma_{zz} - \sigma_{\theta\theta}}{r} = \rho \frac{dw}{dt}, \quad w = \frac{dr}{dt}; \quad (2)$$

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{w}{r}; \quad (3)$$

$$\sigma_{zz} = S_{zz} - P, \quad \sigma_{rr} = S_{rr} - P, \quad \sigma_{\theta\theta} = S_{\theta\theta} - P; \quad (4)$$

$$P = \frac{1}{3}(\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} + \sigma_{zz}); \quad V = \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (5)$$

где z, r – координаты; t – время; $\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{zz}$ – нормальные напряжения; τ_{rz} – касательное напряжение; $S_{zz}, S_{rr}, S_{\theta\theta}$ – компоненты девиатора тензора напряжений, P – среднее гидростатическое давление; ρ – плотность; u, w компоненты скорости; V – удельный объем.

Расширение продуктов детонации происходит согласно двучленной изоэнтропе [2]:

$$P = A \cdot \rho^n + B \rho^{\gamma+1}, \quad (6)$$

где A, B, n, γ – константы, характеризующие данный тип ВВ.

Начальными условиями задачи являются следующие:

$$u = 0, w = 0, P = P_n, \rho = \rho_n \quad \text{при } z < l, r < r_0, \quad (7)$$

$$u = 0, w = 0, P = P_0, \rho = \rho_0 \quad \text{при } z > l, r > r_0. \quad (8)$$

Граничными условия следующие:

$$u_{\text{ПД}} = u_{\text{ГР}}, P_{\text{ПД}} = P_{\text{ГР}}, \rho_{\text{ПД}} \neq \rho_{\text{ГР}} \text{ при } z = l, \quad (9)$$

$$w_{\text{ПД}} = w_{\text{ГР}}, P_{\text{ПД}} = P_{\text{ГР}}, \rho_{\text{ПД}} \neq \rho_{\text{ГР}}, \text{ при } r = r_0. \quad (10)$$

Здесь индексы «ПД» и «ГР» означают продукты детонации и грунт.

При исследовании взрывов двух и более зарядов использовался принцип суперпозиции.

Для аппроксимации системы дифференциальных уравнений (1)–(10) применялся метод конечных разностей с использованием конечно-разностной схемы типа «крест» [9] второго порядка точности по пространственной и временной координатам.

Исследовалось влияние распределения масс зарядов внутри группы на параметры сейсмозврывных волн. При этом полагалось, что взрывается одинаковая групповая масса, но по различным схемам. В случае трех зарядов по первой схеме взрывается сначала заряд меньшей массы, затем – большей, и, наконец, меньшей, равной массе первого заряда. Назовем эту схему «треугольник вверх». По второй схеме взрывается заряд большей массы, затем меньшей, и опять большей («треугольник вниз»). При увеличении количества зарядов такое распределение масс сохраняется по двум предложенным схемам.

Рассматривался взрыв системы цилиндрических зарядов тротила в суглинке с интервалом замедления $\Delta t = 0.02 \text{ с}$. Исследовались различные варианты распределения масс. Примем массой 36.0 кг за единичный заряд q . Тогда в первом варианте расчетов по первой схеме массы последовательно взрывающихся зарядов были следующими: $q, 1.4q, q$; по второй – $1.2q, q, 1.2q$.

На рисунке 1 представлены изобары напряжений σ_{rr} в момент времени $t = 40 \text{ мс}$ при взрывах, производимых по схемам «треугольник вверх» и «треугольник вниз» соответственно. Из анализа рисунков следует, что в массиве грунта в ближней и средней зоне взрыва достигается приблизительно одинаковое напряженное состояние, достаточное для дробления горной породы. Поэтому можно сделать вывод об эффективности применения обеих схем для добычи полезных ископаемых на карьерах.

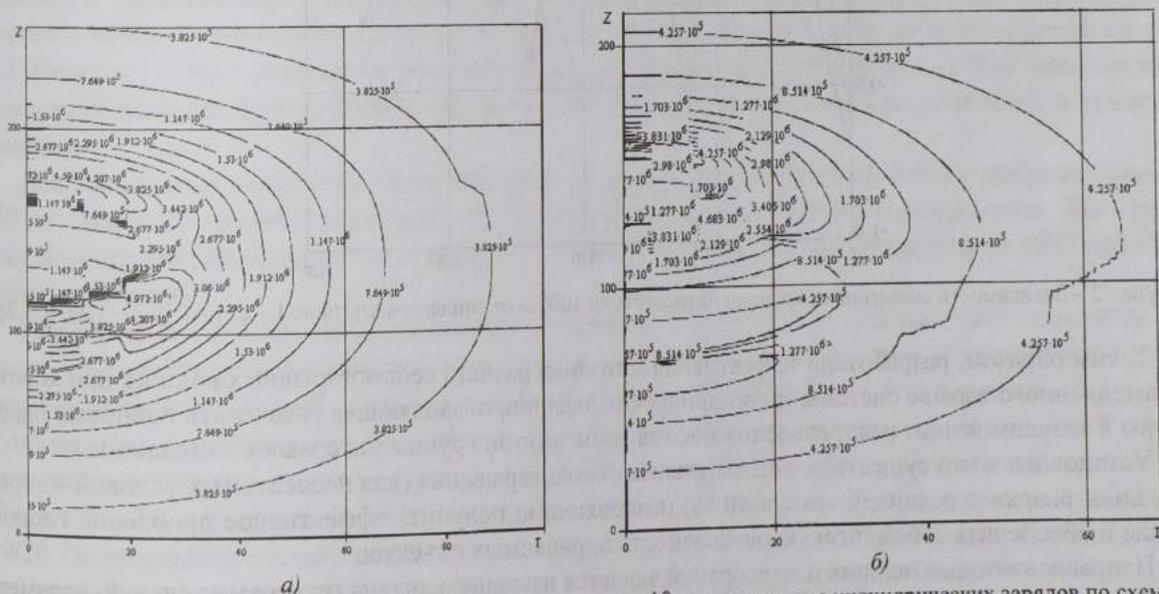


Рисунок 1 – Изобары напряжений σ_{rr} , Па в момент времени $t = 40 \text{ мс}$ при взрыве цилиндрических зарядов по схеме «треугольник вверх» (а) и «треугольник вниз» (б).

Второй задачей исследования, неразрывно связанной с первой, является вопрос обеспечения се-
 мобезопасности охраняемых объектов, находящихся вблизи проведения взрывных работ. Для реше-
 ния этого вопроса зависимости максимального смещения от относительного расстояния r_i при
 взрыве i -го цилиндрического заряда массой Q_i , полученные в результате численного решения в виде

$$(u_{\text{max}})_i = k(Q_i / r_i)^\mu, \quad (11)$$

использовались на втором этапе решения задачи.

Для оценки суммарного действия короткозамедленного взрывания системы цилиндрических зарядов будем исходить из принципа суперпозиции волн. Возмущение в упругой зоне для i -го источника может быть описано следующим выражением [3]

$$u_i = (u_{\max})_i e^{-\nu t} \sin \omega_i t, \quad (12)$$

где $(u_{\max})_i$ – максимальная амплитуда смещения для i -го заряда, ν – показатель затухания сейсмической волны, ω_i – частота колебаний от i -го источника.

Тогда результирующее смещение при короткозамедленном взрывании n различных зарядов с интервалом замедления Δt

$$u = \sum_{i=1}^n k(Q_i / r_i)^\mu e^{-\nu t} \sin \omega_i (t - (i-1)\Delta t). \quad (13)$$

На рисунке 2 представлены зависимости смещения от времени на расстоянии 1000 м от эпицентра взрывов. Нумерация кривых соответствует нумерации предложенных схем взрывания. Из анализа рисунка следует, что при незначительной разнице в амплитудах смещения частота колебаний при взрывании зарядов по второй схеме в два раза больше, чем по первой, что является неблагоприятным фактором для сейсмостойкости охраняемых объектов.

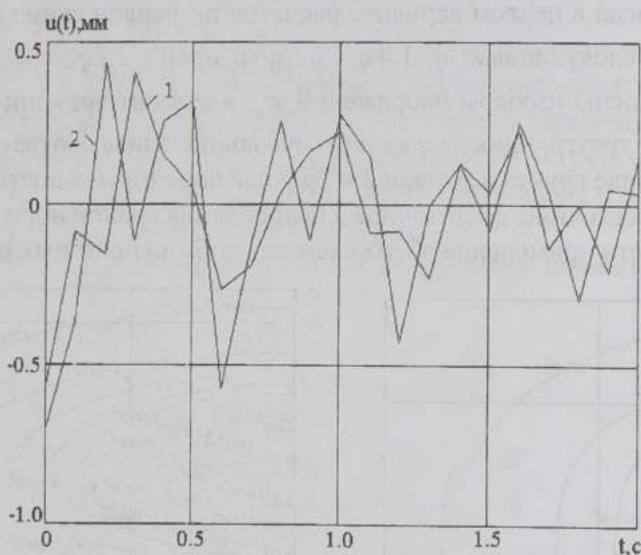


Рисунок 2 – Зависимости смещения от времени на расстоянии 1000 м от эпицентра взрывов: 1 – $q, 1.4q, q$; 2 – $1.2q, q, 1.2q$.

Таким образом, разработана эффективная методика расчета сейсмозрывных волн на при короткозамедленного взрыве системы цилиндрических зарядов, позволяющая рассчитать волновые параметры в зависимости от распределения масс зарядов внутри группы интервалов замедления.

Установлено, что существуют оптимальные схемы взрывания (для исследуемых условий – «треугольник вверх» с разницей масс в 40 %, позволяющие получить эффективное дробление горной массы и обеспечить сейсмическую безопасность охраняемых объектов.

Направлением дальнейших исследований является изучение влияния грунтовых условий, параметров зарядов и их взаимного расположения на спектральные характеристики сейсмических колебаний.

Результаты данной работы могут быть использованы при проектировании взрывных работ для расчета рациональных схем взрывания и управления сейсмозрывным спектром колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бойко, В. В. Особенности деформирования мягкого грунта под действием взрыва сферического заряда / В. В. Бойко, М. Худек, Д. А. Ремез // Материалы Международн. конф. VI Szcola geomechanici. – Gliwice-Ustron, 2003, С. 33–40.
- 2 Каширский, А. В. Влияние уравнения состояния на разлет продуктов детонации / А. В. Каширский, Л. П. Орленко, В. Н. Охитин // Прикл. мех. и техн. физика. – 1973. – № 2. – С. 71–74.
- 3 Бойко, В. В. Особенности механизма образования источника сейсмоизлучения при взрывном разрушении анизотропных горных массивов / В. В. Бойко, Н. С. Ремез, Т. В. Хлевнюк // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Сер. "Гірництво". – 2002. – № 7. – С. 77–83.