

ляли швидко та надійно змінювати ті елементи структури системи, які найбільш схильні до негативного впливу змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі у сьогоденні та у майбутньому.

Як відомо, проект це майбутній та бажаний стан системи, поведінка якої може бути досліджена за допомогою економіко-математичного моделювання (2). Моделюючи зміни у зовнішньому та внутрішньому середовищі можна встановити їх вплив на структуру, параметри системи, показники їх підсистем, дослідити та виконати аналіз чутливості системи до змін.

Проектні конкурентоспроможні показники елементів підсистеми можливо подати у вигляді певної комбінації - суперпозиції функцій.

Суперпозиція функцій - це є композиція функцій, між якими є тісний багаторівневий взаємозв'язок і остаточний вид якої можна отримати шляхом емпіричних досліджень [3]. Суперпозиція не є самою функцією, вона відображає взаємозв'язок своїх складових частин і позначається \otimes .

Згідно з наведеним, можна стверджувати, що конкурентоспроможність проекту підприємства не є функцією (адже функція відображає залежність певної залежної змінної від сукупності незалежних змінних); терміни «залежність», «комбінація», «сукупність», які пропонуються дослідниками, не відображають наявності багаторівневої залежності - це є саме суперпозиція функцій.

Функціональний взаємозв'язок внутрішніх факторів та їх показників являє собою таку суперпозицію

$$IF = KT \otimes ORG \otimes TN \otimes TH, \quad (2)$$

де KT - показники маркетингової підсистеми; ORG - показники організаційної підсистеми; TN - показники технічної підсистеми; TH - показники технологічної підсистеми.

Стійкість основних показників проекту можливо досягнути лише у тому випадку, коли проектувальником гірничої системи закладена раціональна структура резервів, яка б надавала можливість компенсувати негативний вплив змін на всьому протязі життєвого циклу проекту.

Висновки. Отже, в сучасних умовах конкуренції для підвищення ефективності та надійності проектних рішень предметом процесу проектування гірничих об'єктів повинні стати:

стійка направленість розвитку виробничої соціально-економічної системи - організація, яка б забезпечувала постійне зростання ефективності виробництва;

визначення структури резервів, які б забезпечували компенсацію негативного прояву змін зовнішнього та внутрішнього середовища на проектні показники системи на всьому етапі життєвого циклу проекту.

Список літератури

1. **І.В. Завсєгдашня** Автореф. дис. Комплексна рейтингова оцінка конкурентоспроможності гірничозбагачувальних підприємств. - Кривий Ріг. - Изд-во КТУ, 2009.
2. **Н.В. Мельников, К.Е. Виноцкий, В.С. Меньшов, Э.И. Реентович** Вопросы выбора производственной мощности карьера. - Москва. - Изд-во «Наука». - С.19-20.

Рукопис подано до редакції 19.03.12

УДК 622.235

А.А. СКАЧКОВ, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВИБУХОВОЇ ХВИЛІ У МАСИВІ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ

Розглядається задача про розташування двох зарядів на уступі гірських порід і розповсюдження прямої хвилі напруг, а слідом двох її відображень: від покрівлі уступу і його укосу, за умов підривання одного із зарядів, з метою визначення сприятливих умов для підривання другого заряду.

1. Загальне розв'язання (лінійне джерело)

Задача математичного моделювання динаміки вибуху розв'язується методами геометричної оптики без врахування дифракції хвиль. Згідно цьому вибухова хвиля розповсюджується вздовж промінів, її фронт перпендикулярний цим промінням. Оскільки дифракція не враховується, фронт хвилі не огинає перешкоди. При відбиванні енергія не втрачається, вона рів-

номірно розподіляється по фронту хвилі.

Початок координат вибраний у основі уступу (рис. 1). Під уступом розташовані два вертикальних лінійних заряду з координатами кінців $(x_1, y_{1в}, 0)$, $(x_1, y_{1н}, 0)$, $(x_2, y_{2н}, 0)$, $(x_2, y_{2в}, 0)$.

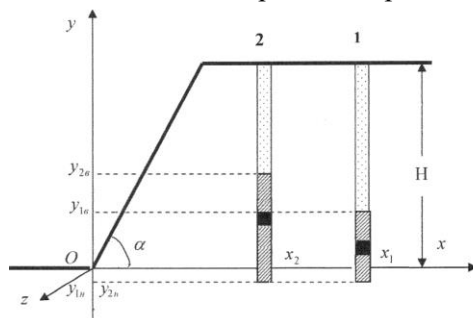


Рис. 1. Розташування ВР в уступі кар'єра із введеною системою координат

Розглядається задача про розповсюдження вибухової хвилі у масиві гірської породи, який має форму уступу висотою H . Кут при основі уступу дорівнює α ($45^\circ < \alpha < 90^\circ$). Початок координат вибраний у основі уступу (див. рис. 1).

Треба підкреслити, що кінці лінійного заряду породжують сферичні хвилі, а сам лінійний заряд - циліндричну хвилю. У місцях змикання цих хвиль виникають скачки амплітуди. Це зв'язано з тим, що характер спадання амплітуди для різних типів хвиль різний. У будь-який момент часу, як до, так і після відбиття, хвильовий фронт складається із частин сфер і циліндрів,

площа поверхонь яких визначається з урахуваннях їх рівнянь. Унаслідок зазначеного, загальна площа поверхні після відбиття повинна зберегатися.

Пряма хвиля від першого заряду складається з трьох частин: верхньої сферичної, середньої циліндричної та нижньої сферичної.

Верхня сферична хвиля існує, коли $y \geq y_{1в}$, її джерело розташовано у точці з координатами $(x_1, y_{1в}, 0)$ і фронт задається рівнянням

$$(x-x_1)^2 + (y-y_{1в})^2 + z^2 = (a \cdot t)^2. \quad (1)$$

Середня циліндрична хвиля існує, коли $y_{1н} \leq y \leq y_{1в}$, її джерело розташовано на відрізку прямої лінії, утвореної шляхом перетину площин

$$\begin{aligned} x &= x_1 \\ z &= 0; \end{aligned} \quad (2)$$

її фронт задається рівнянням

$$(x-x_1)^2 + z^2 = (a \cdot t)^2. \quad (3)$$

І, нарешті, нижня сферична хвиля має місце, коли $y \leq y_{1н}$, її джерело - точка з координатами $(x_1, y_{1н}, 0)$ і її фронт задається рівнянням

$$(x-x_1)^2 + (y-y_{1н})^2 + z^2 = (a \cdot t)^2. \quad (4)$$

Від верхньої горизонтальної поверхні уступу відбивається хвиля, фіктивне джерело якої є відрізок вертикальної прямої. Але в розрахункову область попадає тільки нижня сферична хвиля від нього, яка виходить із точки з координатами $(x_1, 2H - y_{1в}, 0)$, і її фронт задається рівнянням

$$(x-x_1)^2 + (y-2H+y_{1в})^2 + z^2 = (a \cdot t)^2. \quad (5)$$

Перш ніж перейти до розглядання хвилі, яка розповсюджується після вибуху лінійного заряду, яка відбита від уступу, необхідно розглянути більш просту задачу: відбиття від уступу хвилі, фіктивним джерелом якої є точка, симетрична відносно площини уступу по відношенню до фактичного точкового заряду. Координати цієї точки даються рівняннями

$$\begin{aligned} x'' &= x_1 \cos^2 \delta + y_1 \cdot \sin^2 \delta, \\ y_1'' &= x_1 \cdot \sin^2 \delta - y_1 \cdot \cos^2 \delta, \\ z &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Фронт цієї хвилі задається рівнянням

$$(x-x_1 \cdot \cos^2 \delta - y_1 \cdot \sin^2 \delta)^2 + (y-x_1 \cdot \sin^2 \delta + y_1 \cdot \cos^2 \delta)^2 + z^2 = (a \cdot t)^2. \quad (7)$$

Рівняння (6) характеризують лінійне перетворення координат при відбитті від уступу. Таке відображення задається матрицею

$$A = \begin{vmatrix} \cos 2\delta & \sin 2\delta & 0 \\ \sin 2\delta & -\cos 2\delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Від уступу уступу відбивається хвиля, фіктивне джерело якої є відрізок з кінцями у точках, які симетричні відносно уступу до кінців першого заряду. Координати цих точок даються формулами (згідно з (6))

$$\begin{aligned}x_{1\epsilon}'' &= x_1 \cos 2\alpha + y_{1\epsilon} \sin 2\alpha, \\y_{1\epsilon} &= x_1 \sin 2\alpha + y_{1\epsilon} \cos 2\alpha,\end{aligned}\quad (9)$$

$$\begin{aligned}z &= 0, \\x_{1\epsilon}'' &= x_1 \cos 2\alpha + y_{1\epsilon} \sin 2\alpha, \\y_{1\epsilon} &= x_1 \sin 2\alpha + y_{1\epsilon} \cos 2\alpha,\end{aligned}\quad (10)$$

$$z = 0.$$

Для одержання усіх співвідношень, необхідних для розрахунків параметрів хвилі, відбитої від укусу уступу, достатньо скористатися формулами (6). При відбитті, яке задається (6), точок навколо фіктивного джерела вони переходять у точки навколо реального джерела. Межі існування хвиль і відповідні фронти для реального джерела були знайдені вище, і задаються формулами (1-4).

Отже, верхня сферична хвиля від фіктивного джерела існує, коли $x \sin^2 \alpha - y_1 \cos^2 \alpha \geq y_{1\epsilon}$ або $y \leq x \operatorname{tg}^2 \alpha - y_{1\epsilon} / \cos^2 \alpha$, її джерело знаходиться у точці з координатами $(x_{1\epsilon}'', y_{1\epsilon}'', 0, x_{1\epsilon}'', y_{1\epsilon}'', 0)$, а фронт задається рівнянням

$$(x - x_{1\epsilon}'')^2 + (y - y_{1\epsilon}'')^2 + z^2 = (at)^2. \quad (11)$$

Середня циліндрична хвиля існує, коли виконується

$$x \operatorname{tg} 2\alpha - \frac{y_{1\epsilon}}{\cos 2\alpha} \leq y \leq x \operatorname{tg} 2\alpha - \frac{y_{1\epsilon}}{\cos 2\alpha} \quad (12)$$

її джерело розташовано на відрізку прямої, яка утворена перетином площин

$$\frac{y - y_{1\epsilon}''}{x - x_{1\epsilon}''} = \frac{y_{1\epsilon}'' - y_{1\epsilon}''}{x_{1\epsilon}'' - x_{1\epsilon}''}$$

її фронт задається рівнянням

$$(x \cos 2\alpha + y \sin 2\alpha - x)^2 + z^2 = (at)^2. \quad (13)$$

I, нарешті, нижня сферична хвиля має місце, коли

$$y \geq x \operatorname{tg} 2\alpha - \frac{y_{1\epsilon}}{\cos 2\alpha},$$

її джерело знаходиться у точці з координатами $(x_{1\epsilon}'', y_{1\epsilon}'', 0)$, а фронт задається рівнянням

$$(x - x_{1\epsilon}'')^2 + (y - y_{1\epsilon}'')^2 + z^2 = (at)^2. \quad (14)$$

Отже, розглянуті хвилі від першого заряду. Хвилі від другого заряду описуються аналогічно, із заміною у формулах (1)-(14) індексу 1 на 2. Але при цьому замість часу t записується $t - \phi$ (ϕ - час запізнення моменту вибуху другого заряду по відношенню до першого).

Загальне розв'язання задачі моделювання вибухів лінійних зарядів дається шляхом суперпозиції хвиль від реальних та фіктивних джерел вибухів. Кожне окреме розв'язання - сферична або циліндрична хвиля у необмеженому просторі.

При варіюванні параметрів задачі картина розповсюдження вибухових хвиль може мінятися якісно. Для з'ясування виду відображень може бути потрібним знаходження прямолінійних промінів, вздовж яких розповсюджується хвиля. Тому необхідно при моделюванні задавати конкретні значення параметрів.

2. Реальний вибух (лінійне джерело)

Розглянемо реальну задачу яка зустрічається в практиці вибухових робіт

$$H = 11 \text{ м}, \alpha = 60^\circ,$$

$$v = 1,5 \text{ км/с}, x_1 = 14 \text{ м}, y_{1\text{ниж}} = -1,4 \text{ м}, y_{1\text{верх}} = 2,4 \text{ м}, x^2 = 7 \text{ м}, y_{2\text{ниж}} = -1,4 \text{ м}, y_{2\text{верх}} = 4,8 \text{ м}.$$

Будемо вважати, що форма зарядів є лінійною.

Картина розповсюдження вибухової хвилі від заряду 1 для різних моментів часу представлена на рис. 2.

Коли $t = 9,33$ мс хвиля, яка відбита від укусу уступу і пряма хвиля досягають нижньої кромки уступу.

При $t \geq 9,33$ мс хвиля, яка відбита від укусу, від'єднується від неї у нижній частині з відривом фронту і утворенням тіні (рис. 2д).

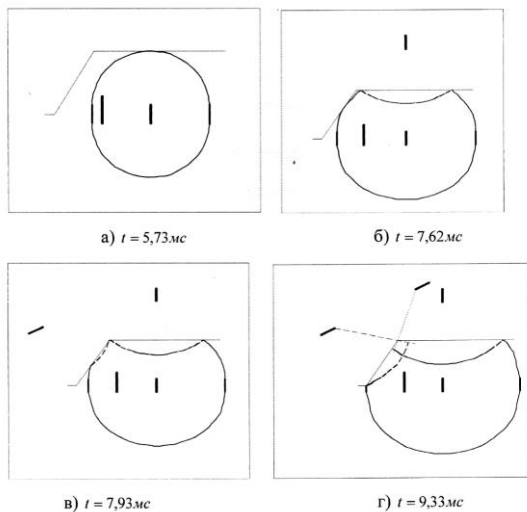


Рис. 2

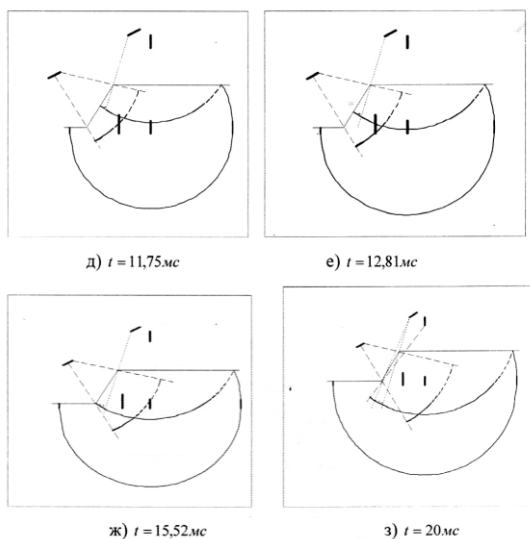


Рис. 3. Розповсюдження вибухової хвилі від лінійних лжепел

Область тіні відбитої хвилі обмежена нижньою горизонтальною площиною і площиною променів, вздовж яких розповсюджується хвиля. Ця площина проходить через точку з координатами $(x_1'', y_{1,0}'')$, де розташоване фіктивне джерело, і пряму нижньої кромки уступу, яка задається рівнянням

$$\frac{y}{x} = \frac{y_1''}{x_1''} \quad (15)$$

і визначається рівнянням

$$x = 0, \quad y = 0, \quad (16)$$

Пряма вибухова хвиля розповсюджується без змін, тому що її площина променів співпадає з нижньою горизонтальною межею уступу. Коли $t=11,75$ мс хвиля, яка відбита від укосу, досягає другого заряду.

Аналіз ситуацій, що складається на рис. 2д та 2е, коли дві відбиті хвилі знаходяться в районі розташування заряду 2, біля укосу уступу що чекає своєї черги, може визвати думку, що це і є сприятливий час його спрацювання. Саме так. Обидві хвилі розташовані навхрест одна одній та створюють зону, яку звать ізотропною, в якій напруги врівноважують одна одну. Порода знаходиться в напруженому стані і нова хвиля розвиватиметься з більшою швидкістю та утворюватиме більш дрібну фрагментацію. Але час існування ситуації 1,25-1,5 мс. Якщо заряд 2 спрацює на 2 мс раніше - відбиті хвилі від заряду 1 гаситимуть пряму хвилю від заряду 2. З одного боку, властивості гірських порід, від одного прошарку до іншого мають схильність до варіації їх значень. Невипадково на геологічних кресленнях міцність порід проставляють 8-10, 12-14. З іншого - піротехніка в капсулях - детонаторах також працює

досить нестабільно, бо то є процес вибухового горіння - набагато менш стабільний ніж детонація. Цю ситуацію можна відпрацювати з високою точністю, якщо по-перше, під час бурових робіт уточнювати властивості гірських порід для кожної окремо взятої свердловини що за кордоном успішно виконують, а по-друге, застосовувати систему електронного ініціювання зарядів ВР, яка забезпечує відхилення від моменту спрацювання засобів ініціювання не більш як 0,5 мс. Але засоби електронного ініціювання для наших умов занадто дорогі, та витрати на їх застосування не можуть бути перекриті покращенням якості подрібнення. Необхідні способи керування дією вибуху з економією як на ВР, так і на всіх процесах гірничого виробництва. Саме тому краще почекати, поки обидві відбиті хвилі пройдуть повз місце розташування заряду 2. Вони тим самим виконуватимуть роботу переміщення масиву у бік вільних поверхонь - до здолання його інерції. Наступна широка зона у часі ≥ 20 мс, коли напруги у «хвостовій» частині розтягуючих хвиль впали і мало заважатимуть прямій хвилі від спрацювання заряду 2а інерція масиву подолана, що є сприятливим фактором для руйнування гірських порід.

Висновки. Аналіз проходження хвиль напруг від спрацювання одного з двох близько розташованих зарядів пропонує два варіанти покращення результатів вибуху:

створенням невеликих інтервалів сповільнень у вузькому діапазоні значень за допомогою електронної системи ініціювання, що відзначається дорожнечою.

створенням значних інтервалів сповільнень, порядку ≥ 20 мс, що дозволяє реалізувати ідею незалежного спрацювання окремих близько розташованих зарядів із мінімізацією їх взаємодії під час вибуху.

Рукопис подано до редакції 19.03.12