

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ С ПРОМЕНЛИВИ ПАРАМЕТРИ НА УДАРНО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ПРОБИВЕН ИНСТРУМЕНТ ОТ МИННАТА МЕХАНИЗАЦИЯ

Кристина Илиева-Стойчева¹, Тихомир Иванов²

¹ Филиал на Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"-София, 6600 Кърджали, ilievakrisi@gmail.com

² Институт по математика и информатика, Българска академия на науките, tihomir_ivanov@ymail.com

РЕЗЮМЕ. Ударът, като сложен динамичен процес, намира място в различни технически системи. В зависимост от търсения ефект ударът може да е работен процес или допълнителен, изискващ защита на системата. Ударното пробиване се използва при пробивни инструменти в минната механизация за разрушаване на скали.

В настоящата статия е предложен модел, описващ взаимодействието между пробивен инструмент моноблок и скали с различна твърдост.

MATHEMATICAL MODEL WITH THE VARIABLES PARAMETERS FROM THE SHOCK INTERACTION IN THE DRILLING TOOL FROM MINING EQUIPMENT

Kristina Ilieva-Stoycheva¹, Tihomir Ivanov²

¹ Branch of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"-Sofia, 6600 Kardzhali, ilievakrisi@gmail.com

² Institute of Mathematics and Informatics, Bulgarian Academy of Sciences, tihomir_ivanov@ymail.com

ABSTRACT. The shot interaction is a complex dynamic process that is used in various technical systems. Depending on the desired effect, shot can be work process or additional process, requiring protection of system. The drilling by shot is used to tools from the mining machinery to breaking the rocks. In this article is proposed a model describing the interaction between the drilling tool monoblock and rocks with different hardness.

Увод

Ударът като сложен динамичен процес намира място в различни технически системи. Задачата за надлъжен удар често възниква при решаване на проблеми с проектирането на ударни машини и технологии. При ударното пробиване с пробивни чукове работният процес протича с предаване на импулс от бутало ударник върху инструмент бургия и, вследствие на предаване на енергията, в зоната на контакта скалата се разрушава.

Изследванията по проблемите на надлъжния удар показват, че ударът между тела е съпроводен с възбуждане на вълни на деформация. Тези вълни се разпространяват с определена скорост и пренасят енергия, а вълновият процес е състояние, зависещо от времето и пространствените променливи.

В моделирането на удар с цяла бургия моноблок инструментът е вълновод във вълновия процес.

Модел

Създаването на математически модел на ударно взаимодействие на пробивен инструмент моноблок с технологична среда /скала/ се състои в избор на теория за нормалните вълни, избор на модел на работа на инструмента

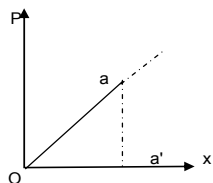
със скалата, избор на модел на съпро-тивление на скалата и решаване на вълново уравнение.

В настоящия модел е избрана класическата теория на Даниел Бернули за нормалните вълни, за която са валидни следните хипотези [2]:

- хипотеза на плоските сечения – всички точки, лежащи в перпендикулярната на оста на пръта плоскост, са с еднакви премествания;
- изпълнени са условията за едноосно деформирано състояние;
- напречните напрежения са равни на нула;
- допуска се, че кинетичната енергия на напречното движение на частиците е пренебрежимо малка;
- пренебрегват се допирателните напрежения и вследствие на това потенциалната енергия на преместващите деформации е приблизително равна на нула.

За модела се приема, че резецът работи като клин в скала. В практиката условията са по-сложни – разрушаването на скалата е по повърхностите на плъзгане. Моментът на разрушаване при ударното пробиване настъпва след няколко предварителни удара. Скалата се разрушава по линията на минималните тангенциални напрежения и при статичното и динамичното натоварване [3].

Съпротивлението на технологичната среда е избрано по модела на Лисовски-Дворников – внедряването на инструмента се представя линейно (фиг. 1) и се описва с уравнение (1) [1].



Фиг. 1. Модел на взаимодействие на инструмент с технологична среда на Лисовски-Дворников

$$P(x) = k \cdot x, \quad (1)$$

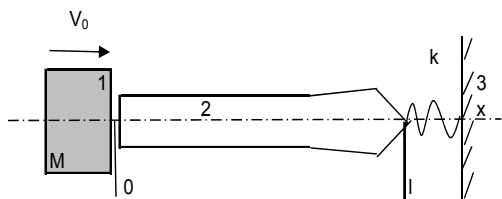
където:

$P(x)$ – сила на съпротивление на средата, [N];

x – внедряване на инструмента, [m];

k – коефициент на твърдост на системата „инструмент-среда“, [N/m²].

При моделирането се разглежда схема на удар по прът, който си взаимодейства в сечението $x = l$ с технологична среда (фиг. 2). По хоризонталната ос x тяло 1 с маса M се движи със скорост V_0 и в момент $t = 0$ нанася удар по прът 2, взаимодействащ с технологичната среда 3 [1].



Фиг. 2. Базова схема на ударната система

За описване на надлъжната вълна, която възниква вследствие на удара, използваме едномерното вълново уравнение:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad (2)$$

където:

$u(x,t)$ – надлъжно преместване на напречното сечение на пръта;

a – скорост на разпространение на вълната на деформация в материала на пръта; [m/s];

x – координата на сечението, [m];

t – време, [s].

Диференциалното уравнение се допълва със съответстващи на конкретния случай начални и гранични условия.

За пробивния инструмент 2 при $t = 0$ се допуска, че няма надлъжна деформация, и се намира в състояние на покой. Началните условия са:

$$u(x,0) = 0, \quad \frac{\partial u(x,0)}{\partial t} = \begin{cases} V_0, & x = 0 \\ 0, & 0 < x \leq l \end{cases}. \quad (3)$$

Граничните условия са:

$$\text{ако } x = 0, \quad \frac{\partial u(0,t)}{\partial x} < 0 \text{ следва:} \quad (4)$$

$$M \frac{\partial^2 u(0,t)}{\partial t^2} = EA \frac{\partial u(0,t)}{\partial x} \quad (5)$$

$$V_M = \frac{\partial u(0,t)}{\partial t} \quad (6)$$

$$x_M = u(0,t) \quad (7)$$

ако $x_M \leq u(0,t)$ следва:

$$\frac{\partial u(0,t)}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

$$V_M = \text{const} \quad (9)$$

$$x_M = x_M(t_0) + v_M(t - t_0); \quad (10)$$

ако $x = l$ следва:

$$u(l,t) = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial u(l,t)}{\partial t} = 0, \quad (12)$$

където:

x_M – координата, определяща положението на ударната маса M , [m];

v_M – скорост на ударната маса, [m/s];

t_0 – времето, в което се отделя ударната маса от ударното сечение, [s].

Граничните условия за сечение $x = l$ между 2 и 3 определят характера на взаимодействие на инструмента с технологичната среда. Скалата е представена като еластично-пластичен елемент и условията са:

$$E \cdot A \cdot \frac{\partial u(l,t)}{\partial x} = k \cdot u(l,t), \quad \text{ако } \frac{\partial u(l,t)}{\partial t} \geq 0 \quad (13)$$

$$E \cdot A \cdot \frac{\partial u(l,t)}{\partial x} = 0, \quad \text{ако } \frac{\partial u(l,t)}{\partial t} < 0, \quad (14)$$

където:

k – коефициент на устойчивост на скалата, [N/m²];

E – модул на Юнг, [N/m²];

A – площ на допир, [m²]

След удара в сечението на пръта се формира вълна, която се разпространява по пръта до противоположния му край. Отразявайки се там във вид на опънова вълна, тя се разпространява обратно. Така процесът се повтаря.

Скоростта на разпространение на вълната е:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} . \quad (15)$$

където:

ρ – плътност на материала, [kg/m³].

Частното диференциално уравнение е от втори ред с две независими променливи (x – пространствена променлива, t – време) и е уравнение на струна. Търсената функция е $u(x,t)$. Към смесената задача за областта $0 \leq x \leq l$ и $0 \leq t$ се добавят началните и гранични условия. По метода на Фурие се търси решение на смесената задача и се прилагат няколко стъпки: разделят се променливите, решава се задачата на Щурм-Лиувил, получава се ред за $u(x,t)$ /формално решение/ и се изследва сходимостта на този ред.

Изводи

Вълновият модел на надлъжен удар описва най-адекватно динамичните процеси при централен надлъжен удар на прът /за централен надлъжен удар се счита удар, при който оста на буталото съвпада с оста на пробивния инструмент/.

В настоящата статия е предложен модел, описващ взаимодействието между пробивен инструмент моноблок и скали с различна твърдост.

Литература

- Ерофеев В., 1999, *Волновые процессы в твердых телах с микроструктурой*, Москва, Изд. Московского унив.
Манжосов В., 2006, *Модели продольного удара*, Уляновск, УлГТУ.
Шейретов К., 1987, *Минни машини*, София, ДИ Техника.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Машинознание“.