

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОРМАТА НА ОТРАЗЕНИЯ ИМПУЛС ПРИ ЧУКА НА ШМИД

Юлиян Димитров, Кристиан Цветков

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail juldim@abv.bg, khc@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. При минния добив намират голямо приложение машини с ударно действие. По предмета Минни машини се изучават параметрите на ударния процес.

В настоящия материал се обсъжда моделът на удара и са са обсъдени формулите за отразения импулс.

За пример е взет чука на Шмид, който се използва за определяне на якостта на натиск на скалата. Направени са изводи за техническите параметри на ударното устройство.

STUDY OF THE FORM OF THE REFLECTED PULSE AT SCHMIDT HAMMER

Julian Dimitrov, Kristian Tsvetkov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail juldim@abv.bg, kho@mgu.bg

ABSTRACT. In mining large application have machinery impact. Parameters of percussive processes are studied in the course of Mining machinery.

In this paper is discussed the model of impact and the formulas of the reflected pulse are discussed.

For example is given Schmidt hammer, which is used to determine the compressive strength of rock. Conclusions about the technical parameters of the impact device are made.

Въведение

Процесите на удар играят важна роля при някои основни добивни машинни в минното производство.

По предмета Минни машини се изучават параметрите на ударния процес. Удачно е в обучението да се използват експериментални прототипи на пробивни машини. Тези машини трябва да са с по-малки габарити и ниска цена. Като пример разглеждаме чука на Шмид. Същевременно той е и професионален инструмент за измерване на якостта на натиск на скалата.

Модел на удара

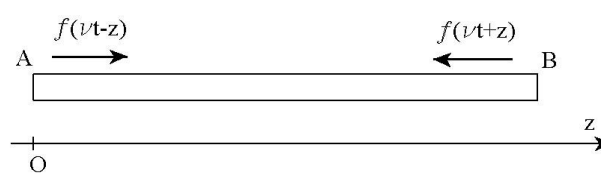
Ударния механизъм формира ударен импулс, който може да бъде описан чрез вълново уравнение като функция на времето. Ефективността при разрушение на ударния инструмент се определя от формата, максималната амплитуда и продължителност на импулса.

Общи принципи и модели на удара

Съществуват много различни модели на взаимния удар на две абсолютно твърди тела. При всички модели е в сила законът за запазване на импулса $m_1 V_1' + m_2 V_2' = m_1 V_1'' + m_2 V_2''$, където m_1 , m_2 - масите на двете тела и V_1' , V_2' , V_1'' , V_2'' - скоростите на телата преди и след удара. В определен смисъл универсален е моделът на Нютон – предполага се

пропорционална зависимост между относителните скорости на телата преди и след удара $V_1' - V_2' = R(V_1'' - V_2'')$. Тук R е коефициента на възстановяване на скоростта. При $R = 1$, ударът е идеално еластичен и при $R = 0$ - имаме пластичен удар.

За извършване на необходимите изчисления се приема дискретен модел на удара – телата се представят чрез елементарни дискретни елементи, притежаващи маса и имаци еластични свойства. Този подход позволява моделирането на процеса на удара с компютър.



Фиг. 1. Ударен процес при свободен прът

На фиг.1 е представен схематичен модел на прът с дължина l . Успоредно по пръта е разположена координатна ос z , с начало в единия край на пръта, обозначен с А, който ще наричаме „приложен край“. Другият край на пръта, обозначен с В, наричаме „работен край“. В процеса на удара в приложния край се поражда „права вълна“. След отразяването на вълната от работния край се поражда „обратна вълна“.

Вълновият модел на Сен – Венан отразява достатъчно пълно динамичните процеси във взаимно удрящите се тела. Разглеждаме безкрайно малък елемент на прът, който се движи под действието на сила. Съгласно закона

на Нютон е изпълнено $m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{\partial P}{\partial z} dz$, където

$m = \rho A dz$ - маса на елемента с дължина dz ,

ρ - плътност на пръта,

A - лице на сечението на пръта, x - преместване по дължината на пръта и

P - осева сила.

След като се приложи и закона на Хук за еластично тяло

се стига до вълновото уравнение $\frac{\partial^2 x}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0$,

където $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ - скорост на разпространение на вълните на деформацията и E - модул на Юнг на пръта.

За решаване на вълновото уравнение е удобен методът на Даламбер. Решението се представя във вида $x(z, t) = f(vt - z) + \varphi(vt + z)$.

v е скорост на разпространение на вълните в пръта. Това представяне е удобно при изчисления, свързани с разпространението на вълните.

Приема се, че $f(vt - z)$ е преместването поради вълновата деформация на сечението на пръта в положителна посока („права вълна“) и $\varphi(vt + z)$ - в отрицателна посока („обратна вълна“). В рамките на пръта правата и обратна вълна остават с непроменени параметри. Представлява интерес преобразуването на вълните в края на пръта.

Разпространение на вълните при свободен край на пръта

Разглеждаме прът, в който работният край е свободен (фиг. 1). В този случай деформацията $\frac{\partial x(l, t)}{\partial z} = 0$. При

$z = l$ е изпълнено $-f'(vt - l) + \varphi'(vt + l) = 0$.

Това означава, че $f'(vt - l) = \varphi'(vt + l)$.

Разглеждаме момент t след достигане на първата вълна на работния край на пръта ($t > \frac{l}{v}$). Следователно,

скоростта на сечението в работния край на пръта е $\frac{\partial x(l, t)}{\partial t} = 2vf'(vt - l)$.

Извод: Поради наслагване на обратната вълна $\varphi(vt + z)$ върху правата $f(vt - z)$, скоростта при работния край на пръта се удвоява. Същевременно деформацията $\frac{\partial x(z, t)}{\partial z} = 0$, поради взаимното

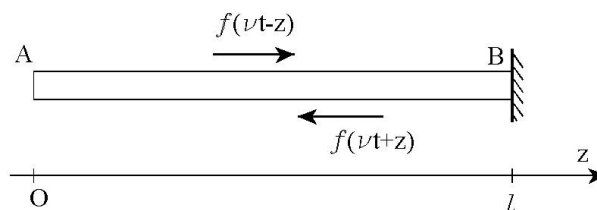
изключване на деформациите на правата и обратно вълна.

Разпространение на вълните при взаимодействие с абсолютно твърда преграда

В този случай, работният край на пръта е фиксиран от преградата (фиг. 2). Граничното условие е скоростта в

точка В да бъде $\frac{\partial x(l, t)}{\partial t} = 0$. Следователно,

$v\varphi'(vt + l) = -vf'(vt - l)$. В този случай, скоростите



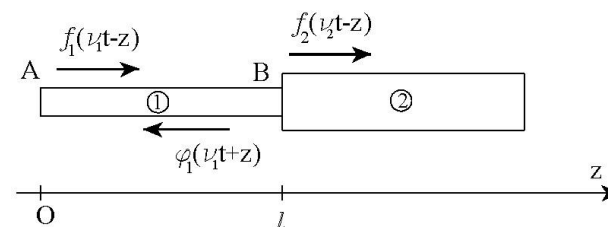
Фиг. 2. Ударен процес при прът взаимодействащ с абсолютно твърдо тяло

от правата и обратна вълна се изключват. Деформациите се наслагват и като резултат в работния край на пръта

деформацията се удвоява - $\frac{\partial x(l, t)}{\partial z} = -2f'(vt - l)$.

Разпространение на вълните на границата между две удрящи се тела

Моделът е представен на фиг.3.



Фиг. 3. Ударен процес при взаимодействие между два пръта

От връзката между граничните условия на решенията на двата пръта се получава, че в точка В на черт. 3 съвпадат

скоростите $\frac{\partial x_1(l, t)}{\partial t} = \frac{\partial x_2(l, t)}{\partial t}$. От равенството на

силите следва $E_1 A_1 \frac{\partial x_1(l, t)}{\partial z} = E_2 A_2 \frac{\partial x_2(l, t)}{\partial z}$,

където E_1 и E_2 са модулите на Юнг за двата пръта и A_1 , A_2 са лицата на техните сечения. От равенството на скоростите следва, че сумарната скорост на правата и обратна вълна за тяло 1 е равна на скоростта на правата вълна на тяло 2:

$v_1[f_1'(v_1 t - l) + \varphi_1'(v_1 t + l)] = v_2 f_2'(v_2 t - l)$.

От равенствата на силите се получава $E_1 A_1 [-f_1'(v_1 t - l) + \varphi_1'(v_1 t + l)] = E_2 A_2 [-f_2'(v_2 t - l)]$

От двете уравнения се получава

$\varphi_1'(v_1 t + l) = \frac{r-1}{r+1} f_1'(v_1 t - l)$, където $r = \frac{E_1 A_1 v_2}{E_2 A_2 v_1}$ е

отношение на ударната твърдост на двете тела.

Ако отношението на ударната твърдост е $r = 1$ - не възниква обратна вълна в прът 1. Ако $r = \infty$ имаме частен случай на свободен прът 1 (фиг. 1). Случая $r = 0$ съответства на прът с абсолютно твърда преграда (фиг. 2).

Метод на частичните вълни

Разглеждаме примера на взаимодействие на две тела (фиг. 3). Обратната вълна $\varphi_1(v_1 t + z)$ достига до точка A и се поражда нова права вълна. Така във всяко сечение на пръта се суперпонира всички преминали прави и обратни вълни, които се наричат „частични вълни“.

Означаваме с P_{11} усилието, дължащо се на правата вълна $f_1(v_1 t - z)$ и с P_{11}^* - усилието, дължащо се на обратната вълна. С P_{2n} означаваме усилието, дължащо се на правата вълна, която се поражда в прът 2 n -тия път. В Алимов и др. (1985) се доказва, че

$$P_{2n} = \sum_{i=1}^n P_{2i} = \left(\frac{r-1}{r+1} \right)^{n-1} = P_{21}.$$
 Усилието, породено от съответната обратна вълна в прът 1 е

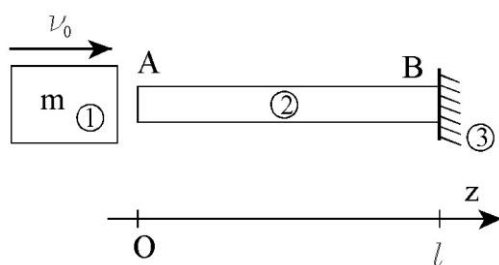
$$P_{1n}^* = P_{2n} = \sum_{i=1}^n P_{2i} = \left(\frac{r-1}{r+1} \right)^{n-1} = P_{21}.$$

Коефициентът на предаване на енергията е $\eta = 1 - \left(\frac{r-1}{r+1} \right)^{2n}$. При $n \rightarrow \infty$ е изпълнено $\eta = 1$.

Взаимодействие на ударната система с обработваната среда

Модел на процеса на взаимодействие с обработваната среда

Разглеждаме модел, с твърд, тежък, недеформируем ударник с маса m и еластичен вълновод (фиг. 4)



Фиг. 4. Схематичен модел с твърд, тежък, недеформируем ударник: 1. – ударник; 2. – вълновод и 3. – обработвана среда

Преместването в сечение z от пръта е $x(z, t) = f(vt - z) + \varphi(vt + z)$ - представено като сума на права и обратна вълна.

В сечението на пръта при $z = 0$ е изпълнено $-m \frac{\partial^2 x(0, t)}{\partial t^2} + EA \frac{\partial x(0, t)}{\partial z} = 0$, където E и A са съответно модул на Юнг и сечение на пръта.

Граничните условия при $z = l$ са

$$EA \frac{\partial x(l, t)}{\partial z} + kx(l, t) = 0,$$

$$x(l, t) = \text{const}, \quad v(l, t) = 0, \quad \frac{\partial x(l, t)}{\partial z} = 0, \quad \text{където}$$

$$k = \frac{P}{x} \text{ - твърдост на контакта.}$$

Начални условия :

$$x(0, 0) = 0, \quad \frac{\partial x(0, 0)}{\partial z} = v_0 \text{ - скорост в началния момент}$$

$$\text{на удара, } x\left(l, \frac{l}{v}\right) = \frac{\partial x\left(l, \frac{l}{v}\right)}{\partial z} = 0.$$

За правата вълна се получава

$$f(vt - z) = \frac{v_0 l}{v \alpha} \left[1 - e^{-\frac{\alpha}{l}(vt - z)} \right], \quad \text{където} \quad \alpha = \frac{\rho A l}{m} \text{ -}$$

отношение на масите на вълновода и ударника. За обратната връзка се получава

$$\varphi(vt + z) = \frac{v_0 l}{v \alpha} (1 + \lambda) \left[e^{-b(vt + z - 2l)} - e^{-\frac{\alpha}{l}(vt + z - 2l)} \right], \quad \text{където}$$

$$b = \frac{k}{EA} \text{ и } \lambda = \frac{\alpha + bl}{\alpha - bl}.$$

Изследване на отразената вълна

Определянето на параметрите на ударната машина може да бъде направено, ако са известни параметрите на отразения ударен импулс. В зависимост от формата на отразения ударен импулс се определя ефективността на работа на устройството.

Разглеждаме модела, представен на фиг.4 – вълноводът има постоянно лице A , в това число и в мястото на контакт със средата. Означаваме с $\varphi_n(v_n t + z)$ обратната вълна, която се появява n -тия път. Вълната на деформиране $\varphi_1(v_1 t + z)$ се разпространява по вълновода и в момента $t = \frac{2l}{v}$ достига контактното сечение с ударника. Под нейно действие се осъществява отделяне на ударника от вълновода. След този момент се формира втора права вълна $f_2(v_2 t - z)$ и обратна вълна $\varphi'_1(v'_1 t + z)$.

Съгласно Алимов и Дворников (1976) при правоъгълен импулс на ударника, отразеният импулс се получава по формулата $P = P_0 \left(1 - 2e^{-2s \frac{t}{T_0}} \right)$, която определя и формата на импулса.

Чук на Шмид

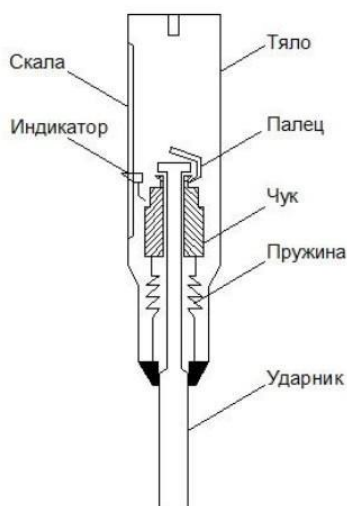
През 1948 година, швейцарският инженер Ернст Шмидт разработва тестващ чук за измерване на твърдостта на бетона, на принципа на измерване на отскока (rebound)

number). Резултатите от неговата работа са били представени пред експериментален институт в Цюрих.

Предназначението на чука на Шмидт е за тестване на твърдост на повърхност с малка видима част. Изведена е връзка между якостта на бетона и броя на отскоците (rebound number) на чука.

Основните компоненти на устройството включват външно тяло, ударник, тежко тяло „чук“ и основна пружина (Shariati M. et al, 2011). Други елементи са заключващ механизъм и плъзгач, който служи за измерване на отскока (фиг.5). Отскокът се измерва в мащаб и има маркировки от 10 до 100.

Най-разпространени са два вида уреди – чук на Шмид от N-тип и L-тип (фиг.6). Първият тип е с около три пъти по-голяма коравина на пружината. И двата имат едно и също тегло на чука – 135 г. И еднакъв ход на буталото – 75 мм.



Фиг. 5. Схема на устройството на чука на Шмид

Нека кинетичната енергия на удара е представена с $E_k = \frac{1}{2} m v^2$, където m е масата на чука на устройството и v е скоростта, с която то удря тестваната повърхност. В следствие на удара се реализира преместване на повърхността Δx . Тогава потенциалната енергия, съответстваща на това преместване е $E_n = \frac{1}{2} k (\Delta x)^2$. От закона за запазване на енергията следва $m v^2 = k (\Delta x)^2$. От това равенство се получава равенство за максималната сила на удар $F_{\max} = k \Delta x$. Следователно коефициентът k е твърдостта на контакта $\sqrt{mk} = \frac{F_{\max}}{v}$ е механичен импеданс на чука и обработваната повърхност. Константата k е свързана с еластичните характеристики на тествания материал и

Препоръчана за публикуване от катедра „Математика“, МЕМФ

затова стойностите на израза $\sqrt{k} = \frac{1}{\sqrt{m}} \cdot \frac{F_{\max}}{v}$ се разглеждат като индексни стойности на якостта на тествания материал.

Ако устройството е снабдено допълнително с акселерометър, то може да бъде отчетено ускорението и оттам определена максималната сила на удара

$$F_{\max} = m a_{\max}.$$



Фиг. 6. Чук на Шмид от N - тип

Импулсът на удара на устройството, обикновено, е с продължителност коло $300 \mu s$. Като се използват изведените формули за отразения импулс и параметрите (техническите параметри и отчетената големина на отскока) може да бъде описан моделът на този вид чук. С учебни цели могат да бъдат решавани експериментални задачи, със студентите от специалността Минна механизация.

Литература

- Алимов О. Д., Л. Т. Дворников. 1976. *Бурильные машины*, М. Машиностроение
- Алимов О. Д., В. К. Манжосов, В.Э. Еремьянц. 1985. *Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах*, М., Наука
- Shariati M. et al. 2011. Assessing the strength of reinforced concrete structures through Ultrasonic Pulse Velocity and Schmidt Rebound Hammer tests, *Scientific Research and Essays*, Vol. 6(1),