ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1965

Seria: GÓRNICTWO z. 13 Nr kol. 138

JERZY NAWROCKI

OBLICZANIE PRĘDKOŚCI PRZESIEWANEGO MATERIAŁU DLA PRZESIEWACZY WIBRACYJNYCH O RUCHU KOŁOWYM

Streszczenie. W artykule omówiono zagadnienie średniej prędkości materiału na sicie dla przesiewacza wibracyjnego o ruchu kołowym. Podano wzory do obliczenia średniej prędkości materiału.

1. Wstęp

W czasie procesu przesiewania materiałów sypkich pewna określona warunkami przesiewania ilość materiału znajduje się na sicie. Przy konstruowaniu nowego przesiewacza konieczna jest znajomość tej ilości. Warunkiem dalszych obliczeń jest określenie - przy założonej wydajności przesiewacza - średniej prędkości materiału na sicie. Średnią prędkość rozumie się jako stosunek drogi przebytej przez materiał na sicie w ciągu skończonej i całkowitej liczby okresów wahań sita do czasu trwania okresów.

Z powyższego wynika, że do określenia średniej prędkości wystarcza znajomość wielkości okresu T oraz skoku materiału S_z na jeden okres.

2. Cechy ruchu ziarn przy ruchu kołowym przesiewacza

Przesiewacz o ruchu kołowym w płaszczyźnie pionowej zbudowany jest w ten sposób, że każdy punkt rzeszota zakreśla koło o promieniu S_o (rys. 1). Tory punktów leżą w płaszczyznach równoległych do siebie i do osi podłużnej sita, a jednocześnie prostopadłych do płaszczyzny sita.

Największa siła występuje w chwili, kiedy przyspieszenie $S_o^2\omega$ jest skierowane prostopadle do płaszczyzny sita i wtedy współczynnik podrzutu U przyjmuje następującą postać

$$U = \frac{S_o\omega^2}{g} \frac{1}{\cos\beta} \qquad (1)$$

S_o - amplituda,

ω - prędkość kątowa,

g - przyspieszenie ziemskie,

β - kąt nachylenia rzeszota.

Droga przesiewanego materiału w kierunku poziomym powinna być tak dobrana, aby ziarno nie wpadło z powrotem do tego samego otworu, a więc droga ta musi być równa przynajmniej połowie otworu sita. Poza tym częstotliwość drgań przesiewacza nie może być bardzo duża ponieważ ziarna znajdujące się w otworach mogłyby mieć trudność przy opuszczaniu otworu sita przez zbyt częste ruchy drgające. Z tego wynika, że drgania przesiewacza muszą być sharmonizowane z wielkością otworu sita.

Na rysunku 1 przedstawiono warunki ruchu materiału na przesiewaczach wibracyjnych o ruchu kołowym dla trzech różnych wartości U, a mianowicie:

U = 2,5; 3,3; 5,25, amplituda S_o = 2,25 mm, nachylenie rzeszota $\beta = 12^o$ oraz zmienna częstotliwość 16,5 Hz, ($n = 1000\ min^{-1}$), 19 Hz ($n = 1150\ min^{-1}$) i 25 Hz ($n = 1500\ min^{-1}$).

Koła odpowiadają przebiegowi ruchu przesiewacza, parabole przedstawiają drogę materiału przesiewanego.
Oznaczenia dla rysunku 1.

L - miejsce oderwania się materiału od sita,

A - miejsce zetknięcia się materiału z sitem,

φ_L - kąt między płaszczyznami sita, a punktem oderwania,

φ_A - kąt między płaszczyzną sita, a punktem zetknięcia,

$S_o\omega$ - prędkość materiału w chwili oderwania się od sita,

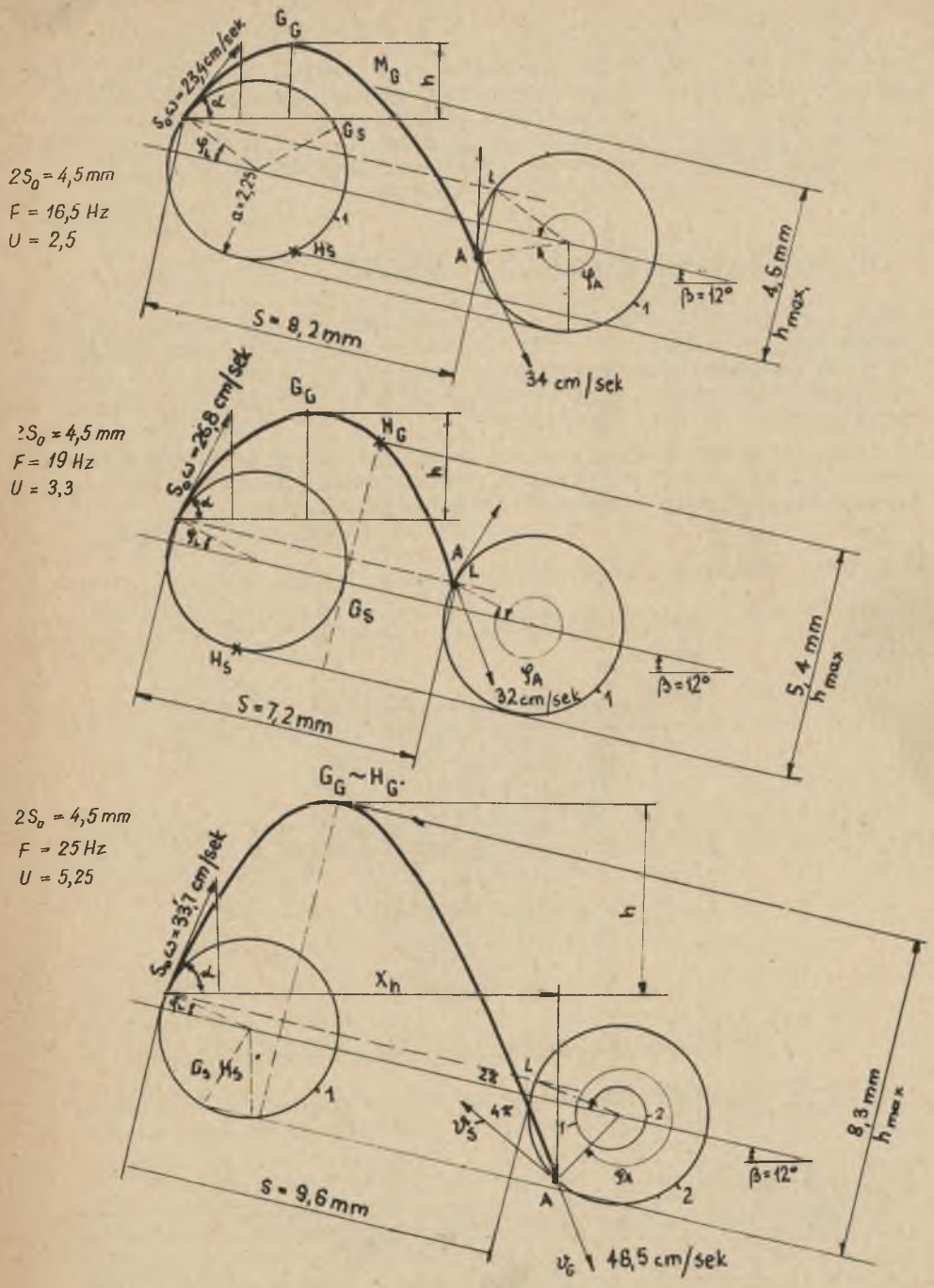
S - droga materiału,

G_o - ziarno znajdujące się na największej wysokości,

G_s - położenie sita gdy ziarno znajduje się na największej wysokości,

H_G - miejsce, w którym ziarno ma każdorazowo największą odległość w stosunku do sita,

H_s - położenie sita, kiedy ziarno znajduje się w H_G.



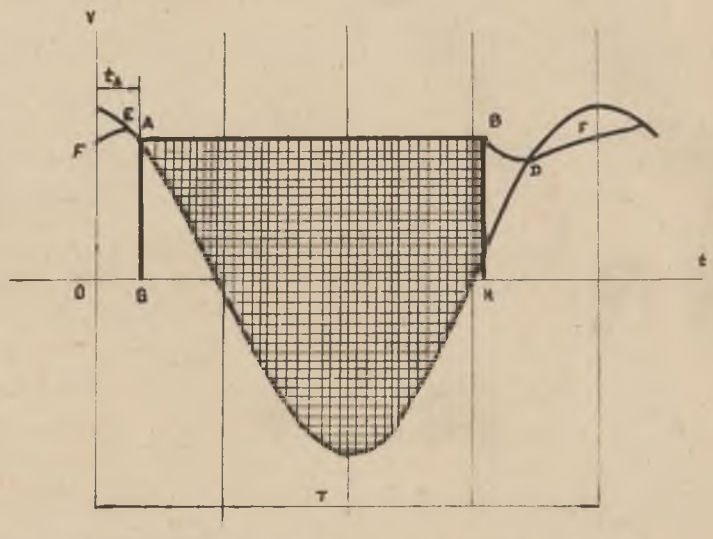
Rys.1. Zmiany wysokości położenia ziarna i sita

Na rysunku 1 można łatwo zauważyć, że kąt podrzutu i kąt padania jest dużo razy większy w porównaniu z linearnie drgającymi maszynami. Teoretyczne zetknięcie materiału z sitem w przypadku 1 a i b następuje w pierwszym okresie tzn. kiedy φ_A jest mniejsza od 360°. Dla przypadku 1c zetknięcie następuje w drugim okresie kiedy φ_A jest większa od 360°.

3. Analiza ruchu materiału z podrzutem

Obliczeniowe określenie prędkości materiału na sicie przesiewaczy o ruchu kołowym w płaszczyźnie poziomej jest dotychczas niedostatecznie opracowane. Ze względu na duży kąt podrzutu prędkość materiału jest mniejsza niż ta, którą oblicza się przy przesiewaczach linearnych.

Pewien prawdopodobny obraz ruchu materiału przedstawia wykres na rys. 2. Oś odciętych przedstawia czas, zaś oś rzędnych wielkość poziomej składowej prędkości ziarna.



Rys. 2. Prędkość materiału na sicie przy ruchu z podrzutem

Po uruchomieniu przesiewacza z materiałem na sicie w pierwszym okresie może się tak zdarzyć, że w chwili podrzutu jednocześnie występuje poślizg. Jednak po upływie stosunkowo krótkiego czasu i ustaleniu się warunków ruchu materiału można uzasadnić, że wykres prędkości przedstawia się w formie linii FEBDF.

Dzięki temu, że prędkości poślizgu przybierają takie wielkości, że dla chwili odpowiadającej punktowi E prędkość materiału i sita jest równa, w czasie podrzutu poślizg nie występuje. Poziomy odcinek AB przedstawia z jednej strony długość czasu lotu tj. podrzutu materiału, z drugiej zaś strony wielkość składowej prędkości. Zgodnie z prawem swobodnego ruchu ciała składowa pozioma dla tego okresu jest stała.
Po powrocie materiału na sito, występuje, jak zostało już wspomniane, poślizg.

Do czasu kiedy składowa prędkości materiału jest większa od składowej prędkości sita, która przedstawiona jest na wykresie cosinusoidą, prędkość materiału maleje.
Składowa prędkości przedstawiona jest dla tego okresu linią BD Wobec tego, że po upływie tego okresu prędkość sita jest większa od prędkości materiału, prędkość materiału rośnie - linia DFE. W punkcie E prędkość materiału i sita są równe i poślizg ustaje.

4. Czas trwania podrzutu

Czas podrzutu można zastąpić kątem jako iloczynem czasu t i stałej prędkości kątowej ω.
Dietrych podaje równanie określające wartość kąta τ, odpowiadający czasowi podrzutu

$$\frac{\tau^2}{2}\left(1 + \frac{tg\beta}{tg\alpha}\right) - \tau\sqrt{u^2-1}\left(1 + \frac{tg\beta}{tg\alpha}\right) + \sin\tau\sqrt{u^2-1} + \cos\tau - 1 = 0 \qquad (2)$$

Każdorazowo określanie wartości τ z powyższego równania jest uciążliwe i z tego względu wprowadzono przybliżony wzór na wartość τ.

$$\tau = \pi\sqrt{2(u-1)} \qquad (3)$$

5. Nowe wzory na obliczanie prędkości materiału

Rysunek 2 przedstawia wykres prędkości sita (cosinusoida) i wykres prędkości ziarna V_z przy ruchu z podrzutem. Z wykresu wynika, że prędkość ziarna V_z jest dodatnia dla dowolnego czasu, a więc materiał posuwa się w jednym kierunku, Pole zakreskowane przedstawia wielkość drogi (mierzonej w rzucie poziomym), którą materiał przebywa w ciągu okresu T. Pole to określa wielkość całki

$$\int_0^T V_z \, dt \qquad (4)$$

Wobec tego średnią prędkość materiału możemy określić następująco

$$V_m = V_1 + V_2 \tag{5}$$

V_1 oznacza prędkość, którą charakteryzuje wielkość drogi zawartą między odcinkami AB i GH, natomiast V_2 oznacza prędkość uwzględniającą pole zawarte między osią t, a cosinusoidą.

Korzystając z wzoru 4 określamy prędkość dla V_1

$$V_1 = \frac{1}{T\cos\beta}\int_G^H V_z\,dt = \frac{V_z\,t'}{T\cos\beta} \tag{6}$$

Jeżeli przyjmiemy, że wypadkowa prędkości ziarna jest prostopadła do płaszczyzny sita (co dla dużych wskaźników podrzutu nie popełniamy dużego błędu), to prędkość składowa pozioma ma wartość

$$V_z = S_o\omega\cos(90^o - \beta)\,t' = S_o\omega\sin\beta\,t' \tag{7}$$

$$t' = \frac{\tau}{\omega}$$

podstawiając tę wartość do równania 6 oraz uwzględniając, że $T = \frac{2\pi}{\omega}$ otrzymuje się

$$V_1 = \frac{1}{2}S_o\omega\sqrt{2(u-1)}\,tg\beta \tag{8}$$

wartość V_2 ma postać [2]

$$V_2 = \frac{S_o\omega\cos\beta}{2\pi}\left[\frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau)\right] \tag{9}$$

Wstawiając do równania 4 wartość V_1 i V_2 otrzymujemy

$$V_m = \frac{1}{2}S_o\omega\sqrt{2(u-1)}\,tg\beta + \frac{S_o\cos\beta}{2\pi}\left[\frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau)\right] \tag{10}$$

i ostatecznie

$$V_m = \frac{1}{2} S_o \omega \left[tg\beta \sqrt{2(u-1)} + \frac{\cos\beta}{\pi} \left(\frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right) \right] \qquad (11)$$

Wstawiając do równania 11 wartość na S_o z równania 1 otrzymuje się drugą postać tego samego wzoru

$$V_m = \frac{\omega g \cos\beta u}{2\omega^2} \left[tg\beta \sqrt{2(u-1)} + \frac{\cos\beta}{\pi} \left(\frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right) \right] \qquad (12a)$$

i ostatecznie

$$V_m = \frac{g}{\omega} \cos\beta \left[tg\beta \sqrt{\frac{u-1}{2} u^2} + \frac{u}{2\pi} \left(\frac{1}{u} - \sin(\omega t_A + \tau) \right) \right] \qquad (12)$$

Dla celów praktycznych człon $\sin(\omega t_A + \tau)$ możemy pominąć i wtedy otrzymamy

$$V_m = \frac{g}{\omega} \cos\beta \left[tg\beta \sqrt{\frac{u-1}{2} u^2} + \frac{1}{2\pi} \right] \qquad (13)$$

Oznaczenia:

V_m - średnia prędkość materiału na sicie dla przesiewaczy wibracyjnych o ruchu kołowym,

u - wskaźnik podrzutu,

ω - prędkość kątowa,

S - amplituda,

g - przyspieszenie ziemskie,

β - nachylenie sita,

τ - kąt obrotu odpowiadający czasowi podrzutu,

$\frac{1}{u} = \sin \omega t_A$.

6. Doświadczalna weryfikacja wzorów

Weryfikację wzoru 13 przeprowadzono w ten sposób, że mierzono czas przebywania materiału na sicie na określonym odcinku, a następnie obliczono wzorem 13 prędkość materiału, uwzględniając parametry danego przesiewacza.

Celem określenia średniego czasu lotu materiału na sicie dla przesiewacza, którego wskaźnik podrzutu u wynosi 5,2 wykonano 30 pomiarów, a wyniki podano w tablicy 1.
Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = \frac{299,4}{30} = 9,98$$

Tablica 1

Czas lotu materiału na sicie (u = 5,2)

t/sek	7,1	5,5	9,5	11,2	12,0	11,4	11,8	9,3	9,8	8,2
t/sek	10,1	10,5	9,2	12,2	10,7	7,5	8,9	10,6	11,0	11,1
t/sek	9,7	11,3	10,1	9,5	8,5	10,1	8,9	12,1	11,1	11,5

Standardowe odchylenie populacji wynosi

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{2,44} = 1,6$$

Błąd średni średniej $\bar{x}$ jest równy

$$\frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{1,6}{5,4} = 0,3$$

Jeżeli będziemy uważali za praktycznie pewne zdarzenie o prawdopodobieństwie p = 0,997, a więc takie zdarzenie, które z grubsza mówiąc - zachodzi 997 razy na tysiąc, to na podstawie niżej podanej zależności następna obserwacja y będzie leżała w granicach $\bar{x} \pm as$, gdzie a = 3, a więc

$$9,0 \text{ sek} < y < 10,8 \text{ sek.}$$

Powyższą zależność przeliczając na prędkość dla L = 2,3 m, a $t_{śr}$ = 9,9 sek, otrzymamy

$$V_{pom} = \frac{2,3}{9,9} = 0,233$$

czyli

$$0{,}214 \text{ m/sek} < 0{,}233 \text{ m/sek} < 0{,}251 \text{ m/sek}$$

W ten sam sposób przeprowadzono doświadczenia dla przesiewacza o wskaźniku podrzutu 3,3. Wyniki pomiarów podano w tablicy 2.

Tablica 2

Czas lotu materiału na sicie (u = 3,3)

t sek	4,8	5,0	5,1	4,9	4,5	5,0	5,4	5,1	5,1	4,9	5,3
t sek	5,2	4,7	5,0	4,4	5,2	4,8	4,9	4,7	5,0	5,2	5,7
t sek	5,4	4,4	4,6	5,1	4,9	4,8	4,7	4,5	5,1	5,2	4,9

Średnia wartość pomiaru wynosi

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} = \frac{163{,}5}{33} = 4{,}9$$

Odchylenie średnie równa się pierwiastkowi z wariancji

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{0{,}081} = 0{,}29$$

Błąd średni średniej $\bar{x}$ jest równy

$$\frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}29}{5{,}6} = 0{,}05$$

Przy współczynniku przewidywania 0,997 następny pomiar będzie w granicach $\bar{x} \pm as$, gdzie $a = 3$, a więc

$$4{,}75 \text{ sek} < y < 5{,}05 \text{ sek}$$

Średni czas lotu materiału na sicie wynosi $t_{śr} = 4,9$ sek na odcinku $L = 1,09$ m, wobec tego prędkość równa się

$$V_{pom} = \frac{1,09}{4,9} = 0,22 \text{ m/sek}$$

czyli

$$0,214 \text{ m/sek} < 0,22 \text{ m/sek} < 0,229 \text{ m/sek}$$

Tablica 3

Prędkość pomierzona i obliczona

u	Vobl	Vpom
3,3	0,12	0,22
5,2	0,19	0,23

Prędkości pomierzone i obliczone przedstawione są w tablicy 3. Zgodnie z przewidywaniami pomierzona prędkość w każdym przypadku jest większa od wyliczonej wzorem 13. Należy zwrócić uwagę na to, że ta odchyłka nie jest przyczyną zasadniczych błędów technicznych i wzór 13 jest jedynie wzorem "bezpiecznym".

LITERATURA

[1] Dietrych: Teoria i budowa przesiewaczy. WGH - 1962.

[2] Nawrocki: Przyczynek do teorii prędkości materiału na sicie, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej Nr 5.

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ГРОХОЧЕННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ГРОХОТОВ ОБЛАДАЮЩИХ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Р е з ю м е

В статье описывается вопрос о средней скорости материала на вибрационном грохоте обладающим вращательным движением. Даются формулы для расчета средней скорости материала.

CALCULATION OF THE FLOW RATE OF SCREENED MATERIAL FOR GYRATORY VIBRATING SCREENS

S u m m a r y

In the paper the problems of the mean flow of material on the screen for gyratory vibrating screens were discussed. The formulas for calculation of the mean flow of material were given.