

Tomasz SZYMAŃSKI, Piotr WODZIŃSKI
Politechnika Łódzka, Łódź

ROZKŁAD AMPLITUDY NA SICIE PRZESIEWACZA MEMBRANOWEGO Z SITEM DRGAJĄCYM*

Streszczenie. Tematem niniejszego artykułu jest rozkład amplitudy na powierzchni sita przesiewacza z sitem drgającym. Różnica pomiędzy omawianymi przesiewaczami a innymi eksploatowanymi w przemyśle polega na tym, że do drgań wzbudzone jest jedynie samo sito, natomiast rzeszoto pozostaje nieruchome. Pociąga to za sobą występowanie nierównomiernego rozkładu amplitudy na sicie przesiewacza. Autorzy niniejszego artykułu w szczególności swoje zainteresowania kierują w stronę przesiewacza z napędem ramowym, który został opracowany w Politechnice Łódzkiej. W treści artykułu przedstawione zostały wyniki badań rozkładu amplitudy na sicie przesiewacza oraz przedstawione problemy związane z opisem i modelowaniem tegoż rozkładu. Przedstawiono także zalety i uniwersalność budowy przesiewacza ramowego, w związku z czym może on znaleźć i znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle. Rezultaty badań mogą być bezpośrednio wykorzystane do celów projektowych, ponieważ omawiany przesiewacz jest wykonany w skali przemysłowej dla materiałów drobno uziarnionych.

AMPLITUDE DISTRIBUTION ON A VIBRATING SIEVE OF THE MEMBRANE SCREEN

Summary. A subject of this paper is the amplitude distribution on the sieve surface of the screen with a vibrating sieve. The difference between these screens and other ones operating in industry is that vibrations are excited only in the sieve, while the riddle remains immobile. This results in an uneven amplitude distribution on the sieve. The authors are specially interested in the screen with a frame drive that has been developed at Łódź Technical University. Results of studies on the amplitude distribution on the sieve surface and problems related to the description and modelling of this distribution are discussed in the paper. Advantages and universality of the frame screen construction and its broad applicability in industry are also presented. Results of these investigations can be used directly in designing because the discussed screen has been built in an industrial scale for fine granular material.

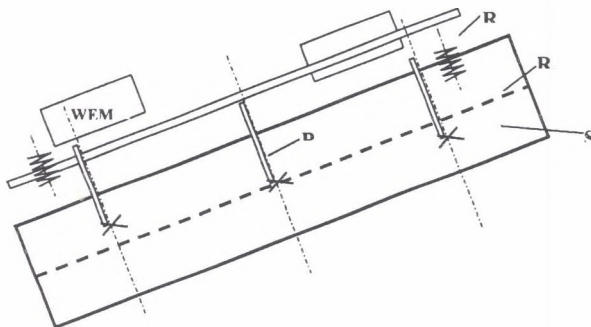
1. Wstęp

Cechą wyróżniającą przesiewacze z sitami drgającymi spośród innych przesiewaczy jest wzbudzenie do drgań samego sita wraz z materiałem przesiewanym, poruszającym się po tym sicie. W zdecydowanej większości maszyn przesiewających sita drgają wraz z rzeszotem, którego masa jest wielokrotnie większa od masy sita. Pociąga to za sobą konieczność stosowania dużych wibratorów zapewniających odpowiednio duże siły wymuszające. To z kolei pociąga za sobą duże zapotrzebowanie mocy na wzbudzenie drgań oraz występowanie dużych sił bezwładności, oddziałujących w części na konstrukcję nośną. Problemy te nie występują w przesiewaczach z bezpośrednim wzbudzeniem sit, ponieważ rzeszoto jest w tych maszynach nieruchome [2].

Spośród wielu rozwiązań konstrukcyjnych przesiewaczy z sitami drgającymi najbardziej korzystny wydaje się układ przesiewacza z ramą napędową. Jest to konstrukcja powstała w Politechnice Łódzkiej i na takim przesiewaczu prowadzone były badania.

W przesiewaczu tym rama napędowa wzbudzana jest do drgań wibratorem elektromagnetycznym i drgania ramy przenoszone są na sito za pomocą łączników zwanych popychaczami. W badanym układzie zastosowano popychacze dwustronnego działania, które charakteryzują się tym, że przenoszą pełne drgania na sito przesiewacza.

Układ z ramą napędową jest rozwiązaniem uniwersalnym, w którym bez większych zmian konstrukcyjnych można oprócz jednego wibratora elektromagnetycznego zastosować dwa wibratory (rys.1).

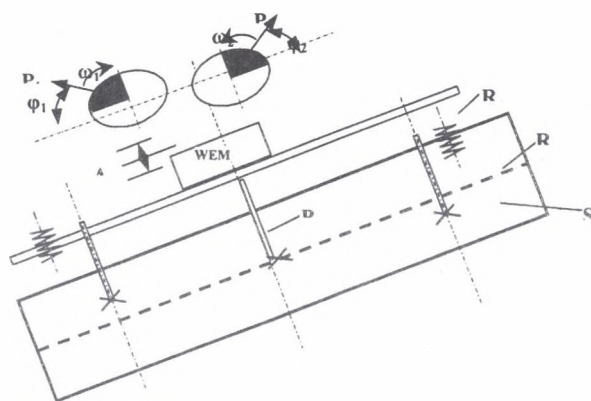


Rys. 1. Przesiewacz z dwoma wibratorami elektromagnetycznymi

Fig. 1. Screen with two electromagnetic vibrators. (WEM – electromagnetic vibrator, P – pushing rod, R₁ – driving frame, R₂ – riddle, S – sieve)

Przypadek taki pozwala wyeliminować w dużym stopniu drgania skrętne ramy, jak również umożliwia równomierne przenoszenie drgań ramy napędowej na sito, co będzie

pokazane przy omawianiu wyników badań. Oprócz wibratorów elektromagnetycznych w przesiewaczach ramowych możemy także zastosować wibratory rotacyjne (rys.2).




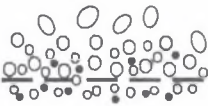
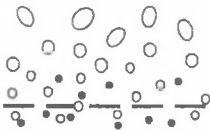
Rys.2. Zastosowanie wibratorów rotacyjnych
Fig. 2. Applicability of rotary vibrators

Przesiewacze z sitami drgającymi są przeznaczone przede wszystkim do przesiewania materiałów drobno i bardzo drobno uziarnionych [6]. Charakteryzują się one stosunkowo dużymi wskaźnikami podrzutu, w przesiewaczu opisywanym w niniejszej pracy maksymalna wartość wskaźnika podrzutu wynosiła $K=18$. Dlatego maszyny te cechuje dobra segregacja warstwy na sicie (tabela 1) i mają wysoką skuteczną wydajność przesiewania. W praktyce osiągają one skuteczności (sprawności) odsiewu w zakresie 0,9-1,0 [2].

Wymienione powyżej cechy powodują, iż maszyny te mogą się stać rozpowszechnionymi przesiewaczami do przesiewania drobnoziarnowego. Ich wadą jest obniżona trwałość sita i bardziej skomplikowane (w porównaniu do przesiewaczy z ruchomymi rzeszotami) mocowanie sit. Jednak biorąc pod uwagę fakt, iż nowoczesne sita tkane (plecione) oraz sita poliuretanowe są trwałe, dlatego te cechy negatywne przesiewaczy z sitami drgającymi stają się mniej dokuczliwe [5].

Przesiewacze z sitami drgającymi charakteryzują się dużą częstotliwością drgań oraz niedużymi amplitudami. W przesiewaczu badanym przez autorów pracy częstotliwość wynosi 50 Hz oraz amplituda maksymalna jest rzędu 2 mm. Kąt nachylenia sita do poziomu można zmieniać w granicach 0-35°, czyli osiągane jest dwukrotnie większe nachylenie niż w przesiewaczach z nieruchomymi sitami. Tak duże wartości kątów i wysokie przyspieszenia powodują znaczne prędkości materiału na sicie przesiewacza. Wynoszą one 0,5-1,0 m/s [2].

Tabela 1

Zakres pracy przesiewacza (sita)	Złoże zwarte	Proces normalnego podrzutu	Proces zwiększonego (dużego) podrzutu
Stan złoża (warstwy)			
Wskaźnik podrzutu K	$K = 1$	$3 \leq K \leq 6,4$	$K \geq 6,4$
Wskaźnik upakowania złoża ϵ	$\epsilon \cong 0,4$	$0,4 \leq \epsilon \leq 0,8$	$\epsilon \rightarrow 1$

Znamienną cechą klasyfikacji na przesiewaczach z sitami drgającymi jest cienka warstwa materiału na sicie, której grubość równa jest wymiarowi ziarna maksymalnego lub jest najwyżej dwukrotnie większa. Stwarza to bardzo korzystne warunki dla przebiegu klasyfikacji. Dlatego uzyskuje się bardzo wysokie sprawności, dochodzące do 100%, co nie jest możliwe do osiągnięcia na przesiewaczach klasycznych. Jak również wydajności jednostkowe procesu są znacznie większe od osiąganych na innych maszynach przesiewających.

Przesiewanie w warstwach cienkich ma miejsce na sitach drgających, ponieważ materiał (warstwa) na takich sitach porusza się z dużą prędkością, co oznacza (przy tym samym natężeniu dopływu nadawy do przesiewacza) zmniejszenie grubości warstwy. Warstwa cienka to taka, której grubość nie przekracza dwóch średnic zastępczych przeciętnego ziarna w nadawie, lub dwóch wymiarów charakteryzujących otwór sitowy dT . W warunkach takich nie występuje opór segregacyjny przesiewania, jednak poszczególne ziarna poruszają się w sposób „skrępowany” (rys.3), co nie pozwala na bezpośrednie zastosowanie aparatu matematycznego, słusznego dla pojedynczego ziarna. A więc model pojedynczego ziarna nie ma tutaj zastosowania.

Przesiewacze z sitami drgającymi charakteryzują się własnością samooczyszczania sit. Drgania powłoki sitowej powodują wypadanie zakleszczonych ziaren z otworów sita. Zapewne ta własność jest przyczyną uzyskiwania dużych sprawności procesowych oraz sprawia, że są one szczególnie przewidziane do przesiewania materiałów drobno i bardzo drobno uziarnionych.



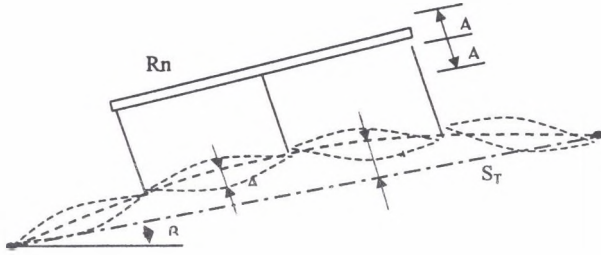
Rys.3. Ruch ziaren na sicie drgającym w cienkiej warstwie
 Fig. 3. The motion of particles in a thin layer on a vibrating screen

2. Cechy charakterystyczne punktowego wymuszenia drgań

W związku z tym, że w przesiewaczach z sitami drgającymi drgania sita powstają dzięki przenoszeniu drgań ramy poprzez popychacze, mamy tutaj do czynienia z nierównomiernym rozkładem amplitudy na powierzchni sita. Sito wzbudzone jest punktowo, w związku z czym powstają tzw. amplitudy membranowe o innej wartości niż amplituda drgań ramy napędowej (rys.4). Wynika to z faktu, że sito przesiewacza ma właściwości sprężyste i drga przeponowo. Oprócz tego ze względu na umocowanie sit do nieruchomego rzeszota amplituda rośnie od zera do wartości amplitudy drgań popychaczy [5].

O ile wyznaczenie teoretyczne amplitudy drgań ramy napędowej nie jest trudne, jest to układ dynamiczny znany chociażby z teorii transportu wibracyjnego, to teoretyczne wyznaczenie rozkładu amplitudy drgań na całej powierzchni sitowej jest zjawiskiem kłopotliwym.

Oczywiste jest, że sita omawianych przesiewaczy wykonują ruch jedynie w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni sita. Jednakże amplituda drgań nie jest jednakowa w każdym punkcie. Ze względu na zamocowanie sita w nieruchomym rzeszocie niecała powierzchnia sita bierze udział w ruchu postępowym.



Rys.4. Amplitudy membranowe sita drgającego. S_T - linia sita nieruchomego (linia zerowa), A - amplituda drgań popychaczy (ramy), A_m - amplituda drgań powłoki sitowej, α - $20-45^\circ$ ($30-35^\circ$) kąt nachylenia sita do poziomu

Fig. 4. Membrane amplitudes of the vibrating sieve. S_T - line of immovable sieve, A - vibration amplitude of the pushing rods (driving frame), A_m - membrane amplitudes, α - $20-45^\circ$ ($30-35^\circ$) angle of inclination of the sieve to the level

W literaturze można spotkać próby opisanie drgań powierzchni sita za pomocą równania membrany.

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) - b \frac{\partial z}{\partial t} + p$$

gdzie:

z - współrzędna wychylenia punktu sita [m]

c - szybkość rozprzestrzeniania się fali [m/s] $c = \sqrt{\frac{\sigma}{\mu}} = f \cdot \lambda$,

σ - napężenie sita [N/m]

μ - gęstość masy [kg/m²]

f - częstotliwość drgań [1/s]

λ - długość fali [m]

b - stała zależna od tłumienia [s/m²]

$$b = \frac{\xi}{c^2}$$

ξ - współczynnik tłumienia [1/s]

p - wielkość zależna od obciążenia [1/m]

$$p = \frac{P}{\sigma}$$

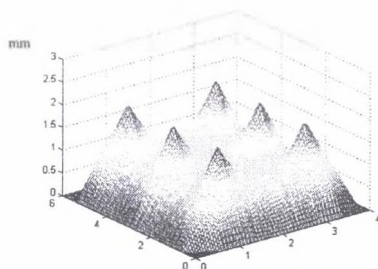
P - obciążenie [N/m²]

W równaniu tym występują wielkości stałe charakteryzujące sito przesiewacza, które w rzeczywistości nie są wielkościami stałymi. Zarówno napięcie siatki, jak i tłumienie zmieniają

się zarówno podczas pracy przesiewacza, jak również podczas każdorazowej zmiany siatki. Nie ma praktycznej możliwości uzyskania identycznych parametrów.

Oprócz tego w wyniku zastosowania równania membrany uzyskamy równomierny rozkład amplitudy pomiędzy miejscami zamocowania popychaczy (rys.5).

Natomiast przeprowadzone doświadczenia wykazują dużą nierównomierność tego rozkładu i znaczne odstępstwa od teorii membrany.



Rys.5. Rozkład amplitudy według teorii membrany.

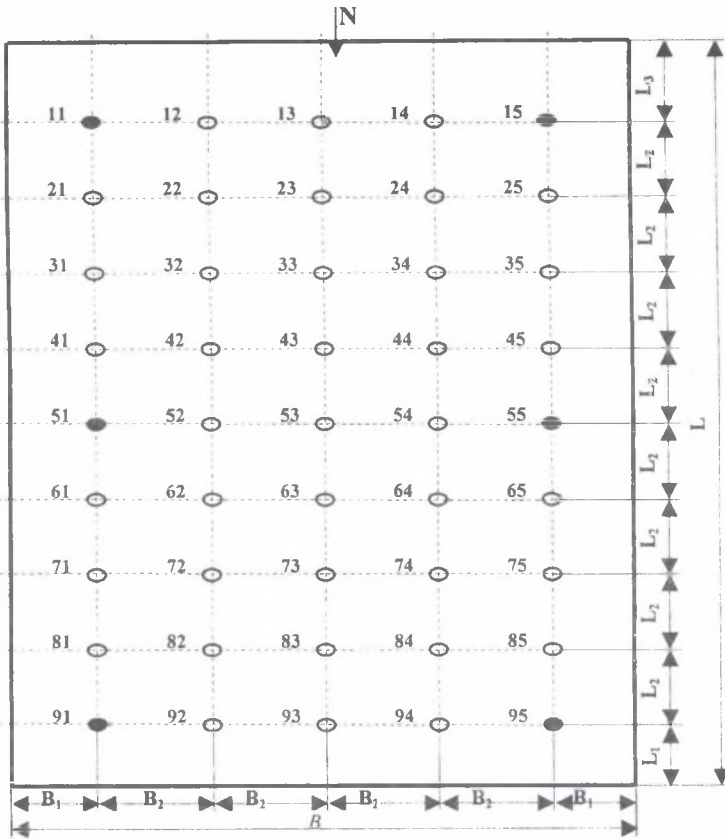
Fig. 5. Amplitude distribution according to the membrane theory.

3. Stanowisko badawcze

Badania zostały wykonane na sicie przesiewacza ramowego z zastosowaniem jednego i dwóch wibratorów elektromagnetycznych. Sito wykonane było z mosiężnej siatki plecionej o wymiarach: długość ramy sitowej – 1250 mm, szerokość – 450 mm, wymiar oczka sitowego 0,63 mm. Na sicie wykonano siatkę punktów pomiarowych, których rozmieszczenie przedstawione jest na rys.6. Wymiary podane na rysunku zawarte są w poniższej tabeli.

Tabela 2

Szerokość sita	Długość sita
$B_1 = 75 \text{ mm}$	$L_1 = 150 \text{ mm}$
$B_2 = 75 \text{ mm}$	$L_2 = 106 \text{ mm}$
$B = 450 \text{ mm}$	$L_3 = 250 \text{ mm}$
	$L = 1250 \text{ mm}$



Rys.6. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

Fig. 6. Location of measuring points

Oznaczenie punktów pomiarowych:

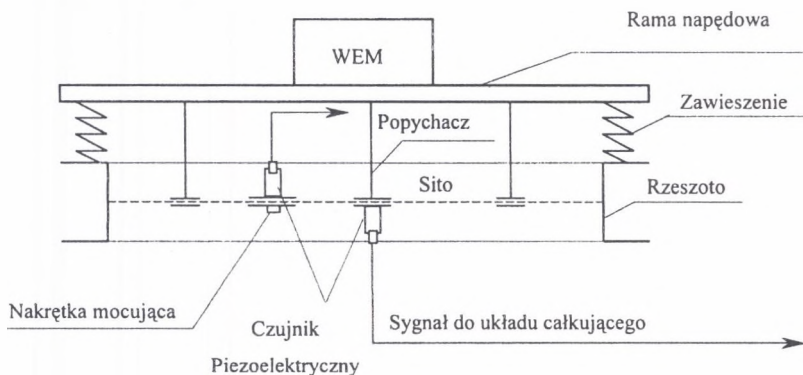
- - miejsce pomiaru amplitudy drgań w punkcie zamocowania popychaczy,
- - miejsce pomiaru amplitudy drgań na sicie.

Pomiaru amplitudy drgań sita dokonano przy użyciu czujnika piezoelektrycznego. Sposób pomiaru przedstawiony jest na rys.7.

Aparatura pomiarowa składała się z czujników piezoelektrycznych, układu całkującego i komputera wyposażonego w kartę pomiarową PCL-818 HD (rys.8). Czujniki pod wpływem przyspieszenia wytwarzają sygnał napięciowy, który jest następnie przesyłany do układu

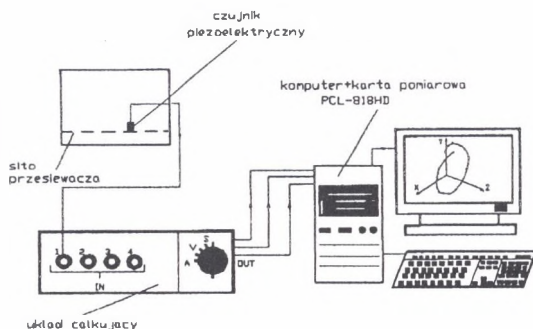
całkującego, gdzie jest on dwukrotnie całkowany, w wyniku czego otrzymujemy wartość wychylenia badanego punktu sita.

W chwili obecnej kontynuowane są badania z wykorzystaniem nowych czujników przemieszczeń liniowych. Pracują one na zasadzie transformatora różnicowego, gdzie elementem ruchomym mierzącym drgania jest rdzeń ferromagnetyczny. Przetwornik jest tak skonstruowany, że nie posiada pętli histerezy, ponadto nie występuje żadne mechaniczne obciążenie w jego pracy, w związku z czym jego powtarzalność jest bardzo wysoka. Do sita przymocowany jest jedynie rdzeń, który dzięki temu, że posiada pomijalnie małą masę, nie wprowadza dodatkowych zakłóceń wielkości mierzonej, czyli amplitudy drgań sita. Pozostała metodyka badań jest identyczna z opisaną poprzednio.



Rys.7. Sposób pomiaru

Fig. 7. Measuring method



Rys.8. Stanowisko badawcze do badań amplitudy sita

Fig. 8. Experimental rig for sieve amplitude studies

Sygnaly z czujników zbierane są przez kartę pomiarową i zapisywane w pamięci komputera. Układ cechowany był za pomocą tastografu ręcznego.

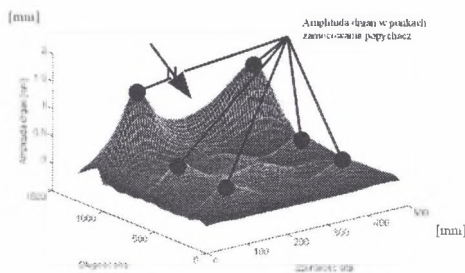
4. Badania i wyniki badań

W poniższym rozdziale przedstawione zostaną wyniki badań nad rozkładem amplitudy na sicie przesiewacza ramowego z sitem drgającym. Badania przeprowadzone były dla układu przesiewacza z jednym i dwoma wibratorami elektromagnetycznymi. Dla jednego i drugiego przypadku wykonano pomiary dla położenia poziomego oraz dla nachylenia 35° . Położenie poziome nie ma oczywiście żadnego zastosowania w przemyśle, ponieważ nie przebiega wtedy proces przesiewania, jednakże wyniki te traktowano jako punkt wyjścia. Natomiast nachylenie 35° jest maksymalnym nachyleniem, pod jakim pracują omawiane maszyny.

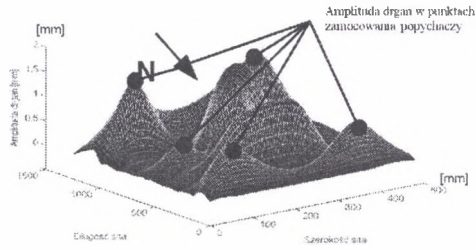
Autorzy poniższego artykułu planują przeprowadzić również badania dla układu z dwoma wibratorami rotacyjnymi, a także dla wszystkich wymienionych wyżej wariantów z materiałem na sicie przesiewacza.

Wszystkie te wyniki przyczynią się do opracowania metody wyznaczania powierzchni sita przesiewaczy ramowych z sitami drgającymi, czyli w konsekwencji do opracowania metody projektowania takich urządzeń.

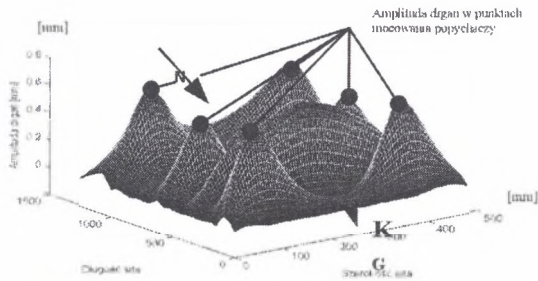
Wyniki przedstawiono w sposób umożliwiający porównanie układów z jednym wibratorem z układem z dwoma wibratorami oraz dla dwu ułożeń sita w poziomie.



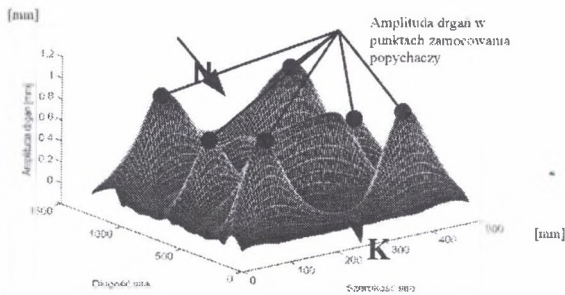
Rys. 9. Jeden wibrator - położenie poziome
Fig. 9. Single vibrator in a horizontal position



Rys. 10. Jeden wibrator - nachylenie 35°
 Fig. 10. Single vibrator inclined at 35°



Rys. 11. Dwa wibratory - położenie poziome
 Fig. 11. Two vibrators in a horizontal position



Rys. 12. Dwa wibratory - nachylenie 35°
 Fig. 12. Two vibrators inclined at 35°

5. Wnioski

Konstrukcja przesiewawcza z napędem ramowym stworzyła możliwość zastosowania różnych konfiguracji układu napędowego. Jak wynika z przeprowadzonych badań, różne umiejscowienie układu napędowego, a także kąta nachylenia sita do poziomu, przejawia się różnym rozkładem amplitudy drgań na powierzchni sita, a co za tym idzie - także różnymi

wartościami wskaźnika podrzutu, co ma wpływ na przebieg procesu przesiewania w różnych strefach sita, tj. strefy początkowej, środkowej, końcowej.

Analizując wyniki badań dochodzimy do sformułowania następujących wniosków:

1. Sito w przesiewaczu ramowym wykonuje ruch jedynie w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni sita.
2. Amplituda drgań nie jest jednakowa w każdym punkcie sita, co będzie czynnikiem decydującym o zróżnicowanym podrzucie warstwy materiału na powierzchni sita.
3. Niecała powierzchnia sita bierze udział w ruchu postępowym ze względu na fakt, iż sito zamocowane jest w nieruchomym rzeszocie.
4. Największe wartości amplitud i wskaźnika podrzutu uzyskane są w punktach zamocowania popychaczy, co wynika z faktu bezpośredniego przenoszenia drgań z ramy napędowej na sito.
5. Obserwuje się występowanie dużych wartości wskaźnika podrzutu. W przesiewaczu opisywanym w niniejszej pracy maksymalna wartość wskaźnika podrzutu wynosiła $K = 18,6$ dla sita umieszczonego pod kątem $\alpha = 35^\circ$, przy zamontowanym 1 WEM. Dlatego można wnioskować, że maszyny te cechuje dobra segregacja warstwy na sicie (proces uwarstwienia) i mają wysoką skuteczną wydajność przesiewania.
6. Przy nachyleniu sita pod kątem $\alpha = 35^\circ$ uzyskujemy znacznie większe wartości amplitud na całej powierzchni sita w porównaniu z wartościami uzyskanymi dla sita ustawionego do poziomu pod kątem $\alpha = 0^\circ$. Doprowadza to do wniosku, iż sito omawianego przesiewacza powinno pracować pod odpowiednim kątem, co uchroniłoby materiał znajdujący się na sicie przed niebezpiecznym zjawiskiem „ugrzęźnięcia”. Znaczny kąt nachylenia sita do poziomu wymaga transportu materiału na pewną wysokość. Jednak z drugiej strony przesiewacze jako urządzenia pracujące w ciągach technologicznych, w których materiał ziarnisty posuwa się z góry na dół, i tak wymagają uprzedniego transportu materiału do góry.

Omawiany w artykule przesiewacz ramowy ze względu na prostą konstrukcję może być stosowany w prawie każdych warunkach w przemyśle. Istnieje możliwość wykonania go z ogólnie dostępnych półproduktów. Nie występują w tym przypadku problemy z dużymi siłami bezwładności przenoszonymi przez napęd i zawieszenie oraz brak jest oddziaływań dynamicznych mas drgających na fundament, na którym stoi maszyna. Przesiewacze z sitami

drgającymi przeznaczone są do przesiewania drobnego w bardzo szerokim zakresie od 20-40 μm do około 10 mm.

LITERATURA

1. Banaszewski T.: Przesiewacze. Śląsk, Katowice 1990.
2. Błasiński H., Wodziński P.: Przesiewacze z sitami drgającymi. ZN PŁ, Inż. Chem., Nr 5/1979.
3. Dietrych J.: Teoria i budowa przesiewaczy, WGH, Katowice 1962.
4. Sztaba K.: Przesiewanie. Śląsk. Wyd. Techniczne, Katowice 1993.
5. Wodziński P., Szymański T.: „Membrane screens with vibrating sieves”. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 2001.
6. Wodziński P.: Przesiewanie i przesiewacze. Monografie, Wyd. PŁ Łódź 1997.

Recenzent: Dr inż. Lucjusz Anders

Abstract

A subject of this paper is the amplitude distribution on the sieve surface of the screen with a vibrating sieve. The authors are specially interested in the screen with a frame drive that has been developed at Łódź Technical University. Results of studies on the amplitude distribution on the sieve surface and problems related to the description and modelling of this distribution are discussed in the paper. Advantages and universality of the frame screen construction and its broad applicability in industry are also presented. Results of these investigations can be used directly in designing because the discussed screen has been built in an industrial scale for fine granular material. A feature that distinguishes these screens from other ones is that vibrations are excited only in the sieve and material lying on it. In most screens the sieve vibrates together with the riddle whose weight is several times higher than that of the sieve.

Among many design solutions of screens with vibrating sieves, the most advantageous seems to be the system with a driving frame. In this screen, the driving frame is excited by an electromagnetic vibrator and the frame vibrations are transferred onto the sieve by means of

couplings called the push rods. Double-action push rods are applied in the tested system. Their characteristic feature is that they transfer full vibrations onto the sieve. The system with the driving frame is a universal solution, in which – without introducing any major changes in the design – beside one electromagnetic vibrator two vibrators, or two rotary vibrators can be used. Screens with vibrating sieves are characterised by high frequency of vibrations and low amplitudes. In the screen tested by the authors, the frequency was 50 Hz and maximum amplitude was about 2 mm. The angle of sieve inclination to the level can range from 0 to 35°, i.e. the inclination is twice as big as in the screens with immobile sieves. Such big angles and high accelerations cause that material on the sieve moves at a significant velocity from 0.5 to 1.0 m/s.

A characteristic feature of classification on the screens with vibrating sieves is a thin layer of material on the sieve. Its thickness is equal to the size of particles or is twice as high at the most. This provides very good conditions for the classification. That is why very high efficiencies, reaching 100%, are obtained which is impossible in the case of classical screens. Process efficiency is also much higher than that attained in other screens.

Results of studies on the amplitude distribution on the sieve of a frame screen with vibrating sieve are discussed in the paper. The investigations were carried out for a screen system with one and two electromagnetic vibrators. In both cases measurements were made for the horizontal position and for 35° inclination. Results are presented in the form of spatial diagrams, in which the so-called topography of the sieve vibrations are clearly illustrated.

In literature there are attempts of describing sieve surface vibrations by means of the membrane equation. This equation includes constant values that characterise the sieve which in reality are not constant. They change both during the screen operation and each time a wire cloth is exchanged. Practically, it is not possible to obtain identical parameters. Additionally, as a result of the application of the membrane equation, a uniform amplitude distribution is obtained between the places where push rods are mounted. The experiments reveal high non-homogeneity of this distribution and deviations from the membrane theory. Results of the investigations show that typical membrane equations cannot be used in the description of amplitude distribution on the sieves of screens with vibrating sieves.