

Wojciech POĆWIARDOWSKI

## WIELOPOKLADOWY ZATACZAJĄCO-ŚRUBOWY PRZESIEWACZ WIBRACYJNY

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono zasadę działania wielopokładowego przesiewacza wibracyjnego pracującego w układzie zataczająco-śrubowym z dwoma wibratorami pracującymi współbieżnie. Zmierzono tłumienia drgań przenoszonych na podstawę dla zawieszenia sprężynowego składającego się z 8, 12 i 16 sprężyn. Najwyższy wskaźnik skuteczności wibroizolacji dla drgań pionowych, wynoszący 77,7%, uzyskano dla 16 sprężyn. Dla zmiennych kątów ustawienia wibratorów względem pionu największą wydajność przesiewania uzyskano dla kątów w zakresie 35-45°. Wydajność pracy przesiewacza wielopokładowego limituje wydajność przesiewania pierwszego sita, która wynosi  $5 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $26 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Drogę nasion po sicie dla średnicy przesiewacza  $D = 0,6 \text{ m}$  oszacowano na  $L = 5 \text{ m}$ .

**Słowa kluczowe:** przesiewacz wibracyjny, przesiewacz zataczająco-śrubowy, przesiewanie

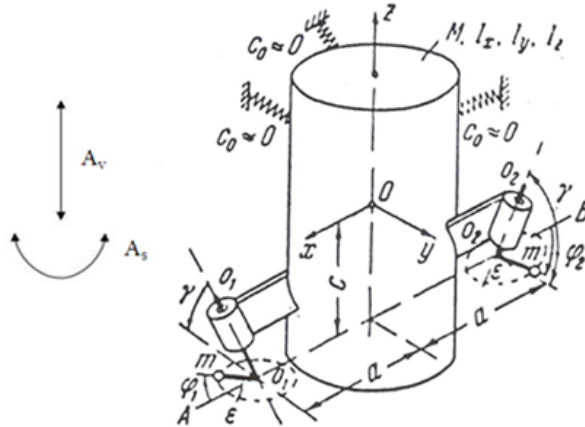
### 1. ZASADA DZIAŁANIA WIELOPOKLADOWEGO PRZESIEWACZA WIBRACYJNEGO, ZATACZAJĄCO-ŚRUBOWEGO

Układ wibracyjny zataczająco-śrubowy pracujący z dwoma wibratorami w układzie współbieżnym, wymusza ruch obwodowy materiału ziarnistego na sicie [1, 2, 8, 9].

Pod względem fizycznym układ zataczająco-śrubowy został szczegółowo opisany przez fizyków rosyjskich [3, 5]. Płaszczyzna wykonuje drgania względem trzech osi X, Y i Z. Na płaszczyźnie XY powstają drgania skrętne, na które składają się drgania względem osi X i osi Y powodujące poziome przesuwanie się materiału ziarnistego po spirali od środka do ścianki (As). Drgania pionowe zmniejszają nacisk na podłoże, siłę tarcia i rozluźniają złożę (Av).

Charakterystykę drgań platformy wibracyjnej w postaci sztywnej płyty opartej na sprężynach, napędzanej dwoma samosynchronizującymi się wibratorami, umieszczonymi symetrycznie po obu stronach, przedstawił Domoradzki i inni [4]. Silniki wibracyjne zamocowano na tarczach umożliwiających regulację kąta pochylenia wibratorów od 0° do 90°. Silniki wibracyjne pracują we wzajemnej współbieżnej samosynchronizacji. Samosynchronizacja polega na samoistnym wpadaniu w obroty synchroniczne dwu wałów niewyważonych, które są osadzone w jednym elemencie sztywnym. Poznanie pracy układu wibracyjnego współbieżnego z dwoma wibratorami pozwoliło na zbudowanie

wielopokładowego przesiewacza do nasion z obiegiem obwodowym ziaren na sicie. Wibratory umieszczone są symetrycznie po obu stronach kolumny sitowej przesiewacza (rys. 1).



Rys. 1. Schemat układu zataczająco-śrubowego napędzanego dwoma wibratorami wg Ławrowa [3, 5]

Fig. 1. Diagram of the rolling-screw system with two vibrators based on Ławrow [3, 5]

Dla urządzeń o drganiach wymuszonych, wskaźnikiem efektywności przekazywania drgań na podstawę maszyny względem osi XYZ jest współczynnik przenoszenia ( $\Lambda$ ):

$$\Lambda = \frac{A_1}{A_2} \quad (1)$$

gdzie:

- $\Lambda$  – współczynnik przenoszenia,
- $A_1$  – amplituda siły wymuszającej wibracje,
- $A_2$  – amplituda siły przeniesionej na podstawę maszyny.

W praktyce często posługiwano się wskaźnikiem skuteczności wibroizolacji – tłumieniem ( $\Psi$ ):

$$\Psi = 1 - \Lambda \quad (2)$$

gdzie:

- $\Psi$  – tłumienie.

Częstotliwość drgań własnych układu posadowionego na wibroizolatorach wyznaczono z uproszczonej zależności (3).

$$f = \frac{5}{\sqrt{\lambda}} \quad (3)$$

gdzie:

- $f$  – częstość drgań własnych [Hz],
- $\lambda$  – ugięcie statyczne wibroizolatorów [cm].

Wartość częstotliwości drgań własnych układu posadowionego na sprężynach oblicza się na podstawie danych doświadczalnych z zależności [6, 7]:

$$f = n \cdot \sqrt{\frac{\Lambda}{\Lambda + 1}} \quad (4)$$

gdzie:

- $n$  – częstość wymuszająca [Hz],
- $f$  – częstość drgań własnych [Hz],
- $\Lambda$  – współczynnik przenoszenia.

## 2. CEL PRACY

Celem badań było sprawdzenie przydatności układu zataczająco-śrubowego z dwoma wibratorami do budowy ciągłego, wielopokładowego przesiewacza wibracyjnego. Zwrócono uwagę na tłumienie drgań przez zawieszenie sprężynowe, prędkość materiału ziarnistego na elementach przesiewacza i wydajność przesiewania ziaren przez sita. Nasiona rozdzielone na frakcje przesiewano przez kolejne trzy sita, licząc od sita, przez które przeszła dana frakcja.

## 3. MATERIAŁY I METODY

Badania ruchu materiału na segmencie sitowym i rozdziału materiału ziarnistego na frakcje, wykonano na drobnych kulistych nasionach roślin kapustnych, stosując sita od 0,8 do 4,0 mm, co 0,2 mm. Z sitowych analiz laboratoryjnych wiadomo, że większość nasion wymaga ok. 7 sit dla pełnego rozdziału na frakcje [4]. Nasiona rozdzielono wstępnie na frakcje: 1,0-1,2 mm; 1,2-1,4 mm; 1,4-1,6 mm; 1,6-1,8 mm; 1,8-2,0 mm.

Analizowany przesiewacz składa się z podstawy wspartej na 8, 12 i 16 sprężynach, na której zamontowano kolumnę sitową o średnicy ok. 0,60 m. Kolumnę montuje się z segmentów, między którymi umieszczane są sita i urządzenia do ich czyszczenia. Badano wydajność przesiewania sit o  $D_k = 0,565$  m ( $D_k$  – średnica sit). Kolumnę zakrywa pokrywa z otworem o średnicy 50 mm dla doprowadzania materiału i otworem rewizyjnym o średnicy 160 mm. Materiał do przesiewacza podawany jest lejem na środek sita i przesuwa się od osi sita w kierunku do jego obrzeża, a następnie jest odprowadzany na zewnątrz. Wysypy odprowadzają materiał z sit do odbieralników poszczególnych frakcji. Na podstawie przesiewacza spoczywa segment dolny. Na dolnym segmencie kolumny sitowej zainstalowano dwa wibratory firmy VIBRA POL Poznań, typ BM 15-0020. Wibratory ustawiono dla 90% siły wymuszającej wibracje równej 3650 N i pod kątem 20-60°. Blok sit opiera się na sprężynach (rys. 2).



Rys. 2. Przesiewacz zataczająco-śrubowy  
Fig. 2. The rolling-screw screen

#### 4. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

##### 4.1. Badania tłumienia drgań

Masa pustego stołu wibracyjnego ze zbiornikiem, powyżej zawieszenia sprężynowego, wynosi 120 kg. Materiał umieszczony w zbiorniku jest zawieszony razem z układem napędowym na 8, 12 i 16 sprężynach. Emisję drgań mierzono w trzech punktach pomiarowych, na pokrywie przesiewacza i na podstawie cylindrycznej (tab. 1). Pomiaru pozwalają ocenić skuteczność tłumienia sprężyn i były wykonywane SYSTEM PULSE firmy Bruel&Kjaer. Jest to platforma służąca do wielokanałowej analizy drgań w czasie rzeczywistym i umożliwia przeprowadzenie badań amplitudy, prędkości i przyspieszenia drgań układu względem osi X, Y, Z. Aparatura pomiarowa składa się z czujnika, konsoli i komputera z oprogramowaniem.

Tabela 1. Wyniki obliczeń tłumienia dla 8, 12 i 16 sprężyn  
Table 1. The results of damping calculation with 8, 12 and 16 springs

Amortyzator	Oś drgań XYZ	Pokrywa A <sub>1</sub> [mm]	Podstawa A <sub>2</sub> [mm]	Tłumienie [%]
16 sprężyn	X 16	0,43	0,06	93
	Y 16	0,14	0,14	99
	Z 16	0,60	0,02	71
12 sprężyn	X 12	0,37	0,03	89
	Y 12	0,13	0,09	99
	Z 12	0,59	0,02	71
8 sprężyn	X 8	0,33	0,03	89
	Y 8	0,12	0,12	99
	Z 8	0,52	0,02	66

Zależność ugięcia sprężyny od siły ściskającej i opisano wzorem:

$$Y = 0,0468X \quad (5)$$

gdzie:

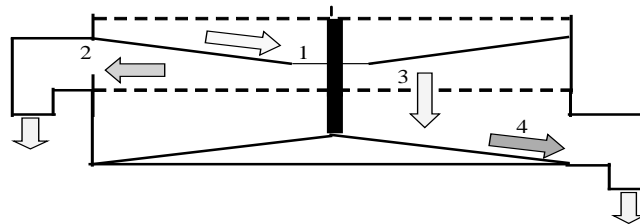
Y – ugięcie sprężyny [mm],  
X – siła ściskająca sprężynę [N].

Do dalszych badań wybrano amortyzator sprężynowy z 16 sprężynami, charakteryzujący się największym współczynnikiem tłumienia względem osi  $\Psi_x = 0,93$  i osi  $\Psi_z = 0,71$ . Tłumienie względem osi Y jest stałe i wynosi  $\Psi_y = 0,99$ .

#### 4.2. Badania pokładu sitowego

Badania prowadzono w 7-pokładowym przesiewaczu wibracyjnym, o powierzchni  $0,25 \text{ m}^2$  z 16 sprężynami. Prędkość obwodowa nasion na sicie przesiewacza wynosiła  $0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , amplitudy drgań na pokrywie względem osi:  $A_x = 0,43 \text{ mm}$ ,  $A_y = 0,14 \text{ mm}$ ,  $A_z = 0,60 \text{ mm}$ , kąt pochylenia wibratorów  $20-60^\circ$ , częstość wibracji  $25 \text{ Hz}$ , a siła wymuszająca wibracje  $3650 \text{ N}$ .

Badano elementy przesiewacza, na których ruch materiału powinien wywierać wpływ na wydajność przesiewania urządzenia (rys. 3):



Rys. 3. Ruch materiału w kasecie przesiewacza: 1 – ruch nasion na leju stożkowym, 2 – ruch materiału wzdłuż sita, 3 – przesyp przez sito, 4 – ruch w kierunku wysypu  
Fig. 3. Material action in a screen layer: 1 – movement of seeds in conical hopper, 2 – movement of the material along the sieve, 3 – dumping through the sieve, 4 – movement directed to way out

Badano wydajność splywu cząstek kulistych po leju stożkowym doprowadzającym materiał ziarnisty na środek sita, mierząc czas splywu znanej masy. Wydajność splywu cząstek kulistych w funkcji kąta ustawienia wibratorów przedstawiono na rysunku 4.

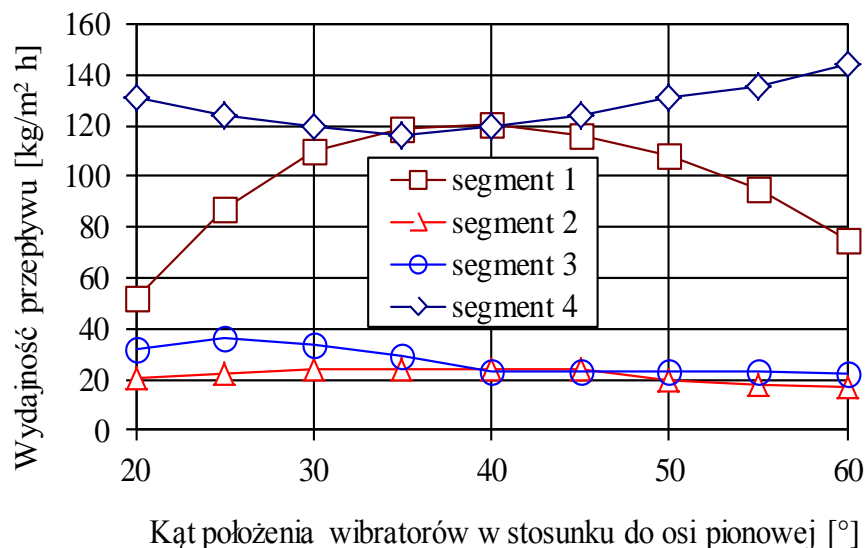
Badanie przepływu materiału ziarnistego na sicie w kierunku wysypu wykonano na zablokowanym sicie poprzez ułożenie pod sitem tarczy wykonanej z blachy bez otworów. Sito zasypywano materiałem ziarnistym aż do ustalenia równowagi. Mierzono czas splywu znanej masy ziaren. Zależność wydajności ruchu materiału po sicie w funkcji kąta ustawienia wibratorów przedstawiono na rysunku 4.

Na przesiewaczu zamontowano badane sito, a pod sitem lej do zbierania nasion które przeszły przez sito. Na powierzchnię sita wysypywano badaną frakcję i uruchamiano przesiewacz. Zmieniano kolejne frakcje nasion i kolejne sita 1,4 mm; 1,6 mm; 1,8 mm. Mierzono masę nasion, które przeszły przez badane sito i obliczano średnią wydajność przesiewania przez sito.

Jak się okazało, dla wybranej wąskiej frakcji materiału ziarnistego wpływ kąta ustawienia wibratorów na wydajność przesiewania jest nieznaczny.

Wydajność spływu materiału ziarnistego po dolnym stożku przesiewacza, odbierającym materiał z kolumny sitowej, polegały na mierzeniu czasu wysypu znanej masy materiału ziarnistego (rys. 4).

Dla zmiennego kąta położenia wibratorów wydajność ruchu materiału ziarnistego na elementach przesiewacza przeliczono na powierzchni 1 m<sup>2</sup> (rys. 4).

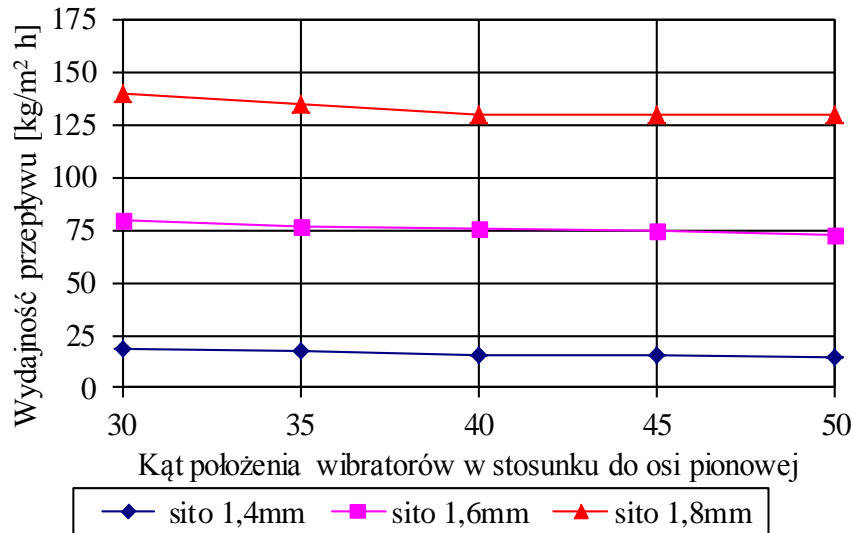


Rys. 4. Zestawienie wydajności przepływu materiału ziarnistego na elementach przesiewacza: 1 – ruch nasion na leju stożkowym, 2 – ruch materiału wzdłuż sita, 3 – przesyp przez sito, 4 – ruch do wysypu na stożku dolnym przesiewacza

Fig. 4. Comparison of granular material flow efficiency on screen elements: 1 – movement of seeds in conical hopper, 2 – movement of the material along the sieve, 3 – dumping through the sieve, 4 – movement to dump (way out) on the cone bottom screen

### 4.3. Wydajność przesiewania materiału przez kolejne sita

Odsiane frakcje nasion na analizowanym sicie przesiewano jeszcze raz przez to samo sito. Wydajność przesiewania materiału ziarnistego przez badane sito dla odsianych frakcji o wymiarach 1,2-1,4 mm przez sita o średnicach oczek 1,4 mm i dla kolejnych sit 1,6 mm i 1,8 mm przedstawiono na rysunku 5. Wydajność przesiewania sit niewiele się zmienia wraz ze zmianą kąta ustawienia wibratorów.



Rys. 5. Wydajność przesiewania frakcji 1,2-1,4 mm dla sit z otworami o średnicy: 1,4 mm, 1,6 mm, 1,8 mm

Fig. 5. Screening efficiency 1,2-1,4 mm fraction for sieves with hole diameter: 1,4 mm, 1,6 mm, 1,8 mm

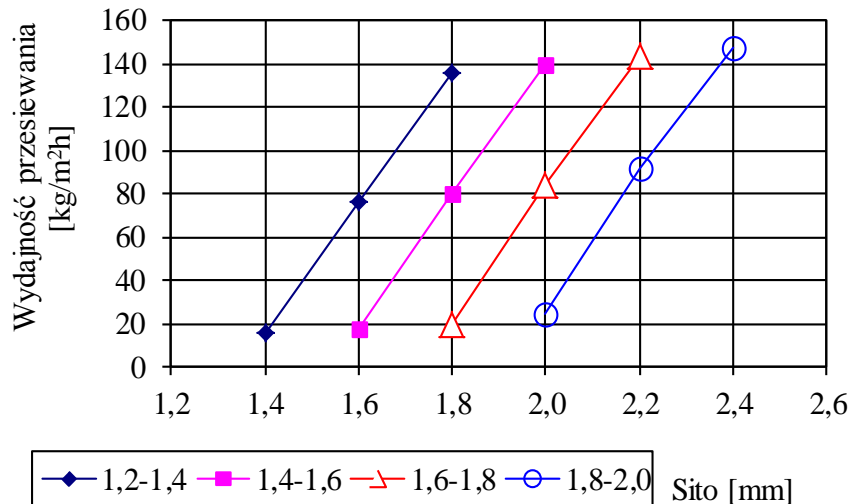
Wydajność ta jest większa od wydajności przesiewania materiału nierozdzielonego na frakcje. Analogicznie przebadano wydajność przesiewania dla kolejnych frakcji materiału ziarnistego przez sita o średnicach otworów równych górnemu wymiarowi frakcji (tab. 2).

Tabela 2. Wydajności przesiewania materiału ziarnistego przez kolejne 3 sita  
Table 2. Screening efficiency of granular material through 3 consecutive sieves

					Wydajność przesiewania przez kolejne sita [kg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ]			
			nr sita	sito mm	frakcja 1,2-1,4	frakcja 1,4-1,6	frakcja 1,6-1,8	frakcja 1,8-2,0
			1	1,4	16			
		1	2	1,6	76	18		
	1	2	3	1,8	136	80	20	
1	2	3		2,0		140	84	24
2	3			2,2			144	92
3				2,4				148

Dla kolejnych sit, licząc od sita o najmniejszym oczku dla danej frakcji, wydajność przesiewania wzrasta. Najwolniej dana frakcja przechodzi przez sito najmniejsze, które w praktyce limituje wydajność przesiewania. Badając wydajność przesiewania przez najmniejsze sito zauważono, że jest zbliżona dla kolejnych pierwszych sit. Podobna zależność obowiązuje dla sita drugiego i trzeciego. Na tej podstawie wyliczono wartości średnie wydajności dla kolej-

nych sit. Uzyskane dane, dla kolejnych sit, dla kąta  $45^\circ$  przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wydajność przesiewania przez 3 sita w zależności od średnicy oczka sita  
Fig. 6. Screening efficiency of granular material depending on the sieve mesh diameter through 3 consecutive sieves

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań wielopokładowego przesiewacza wibracyjnego pracującego w układzie zataczająco-śrubowym z dwoma wibratorami stwierdzono, że tłumienie zawieszenia sprężynowego dla 16 sprężyn wynosi dla osi X  $\Psi_x = 0,93$ , osi Y  $\Psi_y = 0,99$  i osi Z  $\Psi_z = 0,71$ . Częstotliwość drgań własnych przy częstotliwości wymuszającej wibracje 25 Hz dla maksymalnej ilości 16 sprężyn, obliczona na podstawie wzoru (3) wynosi średnio ok. 9,4 Hz, a na podstawie pomiarów – wzór (4) – średnio ok. 11,4 Hz i jest zgodna z przewidywaniami.

Badania wskazują, że elementami o najmniejszej wydajności, limitującymi wydajność przesiewacza są: ruch materiału ziarnistego po sicie do wysypu oraz przesyp przez otwory sita, a optymalny kąt ustawienia wibratorów względem pionu dla uzyskania maksymalnej wydajności przesiewania zawiera się w granicach od  $35^\circ$  do  $45^\circ$ , a najlepiej  $45^\circ$ .

Wydajność przesiewania przez sito w badanym przesiewaczu limituje wydajność przesiewania maszyny i wynosi:

- dla sita pierwszego ok.  $4 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  lub ok.  $16 \text{ kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ,
- dla sita drugiego ok.  $19 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  lub ok.  $76 \text{ kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ,
- dla sita trzeciego ok.  $34 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  lub ok.  $136 \text{ kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ .



Oszacowana (za pomocą znacznika) droga nasion na sicie o średnicy 0,6 m wynosi ok. 5 m, co sprzyja dokładnemu rozdzieleniu materiału ziarnistego na frakcje. Przeprowadzone pomiary pozwalają na dobór wydajności dozownika.

## LITERATURA

- [1] BANASZEWSKI T.: Przesiewacze. Wydawnictwo Śląsk, 1990.
- [2] BANASZEWSKI T., FILIPOWICZ A.: Prędkość ziarna na pokładzie przesiewacza typu WK. Inżynieria mineralna, 2003, 15-25.
- [3] BLECHMAN I.: Synchronizacja dynamicznych systemów. Wydawnictwo Nauka Moskwa, 1971.
- [4] DOMORADZKI M., POĆWIARDOWSKI W., KANIEWSKA J.: Zastosowanie układu drgającego z dwoma zsynchronizowanymi wibratorami. Chemik 66(5), 2012, 5009-5014.
- [5] DIETRYCH J.: Teoria i budowa przesiewaczy. WGH Katowice, 1962.
- [6] ŁĄCZKOWSKI R.: Wibroakustyka maszyn i urządzeń. WNT Warszawa, 1983.
- [7] PISZCZEK K., WALCZAK J.: Drgania w budowie maszyn. PWN Warszawa, 1972.
- [8] SZTABA K.: Przesiewanie. Śląskie Wydawnictwo Techniczne Katowice, 1993.
- [9] WODZIŃSKI P.: Przesiewanie i przesiewacze. Monografie 907, Politechnika Łódzka, 1997.

## MULTILAYER VIBRATING ROLLING-SCREW SCREEN

**Summary:** The study illustrates the principle of multilayer vibrating screen working in a rolling screw system with two vibrators working concurrently. Damping of vibrations transmitted to the base for a spring suspension composed of 8, 12 and 16 springs was measured. The highest levels of vibration isolation effectiveness for vertical vibration with ratio of 77.7% were achieved for combination of 16 springs. For variable angles to the vertical vibratory screening the highest screening efficiency was achieved when angles were between 35 and 45°. Efficiency of multilayer screen is limited by efficiency of screening through a first screen, which is 5 kg/h (26 kg/(h·m<sup>2D = 0.6 m was estimated at  $L = 5$  m.</sup>

**Key words:** vibrating screen, rolling-screw screen, screening