

CHARAKTERYSTYKA PRACY PRZESIEWACZA Z DWOMA WIBRATORAMI ZSYNCHRONIZOWANYMI WSPÓŁBIEŻNIE*

Wojciech Poćwiardowski¹, Marek Domoradzki¹, Tadeusz Matuszek², Damian Żórawski¹
Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu Chemicznego i Spożywczego
¹Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
²Katedra Konstrukcji Maszyn i Pojazdów, Politechnika Gdańska

Streszczenie. Badano amplitudę drgań przesiewacza wibracyjnego z dwoma wibratorami zsynchronizowanymi współbieżnie. Zmierzono wpływ parametrów pracy wibratorów oraz masy przesiewacza na amplitudę drgań w układzie przestrzennym dla osi XYZ, oraz ruch obwodowy nasion po sicie. Moment roboczy względem osi X maleje wraz ze wzrostem kąta położenia wibratorów; względem osi Z rośnie ze wzrostem tego kąta. Pozostałe momenty robocze są stałe przy zmianach kąta położenia wibratorów. Zaproponowano zastosowania zbadanego układu do napędu maszyn wibracyjnych, jak dozowniki, mieszalniki i suszarki wibracyjne.

Słowa kluczowe: przesiewacz wibracyjny, układ drgający współbieżny

Wstęp

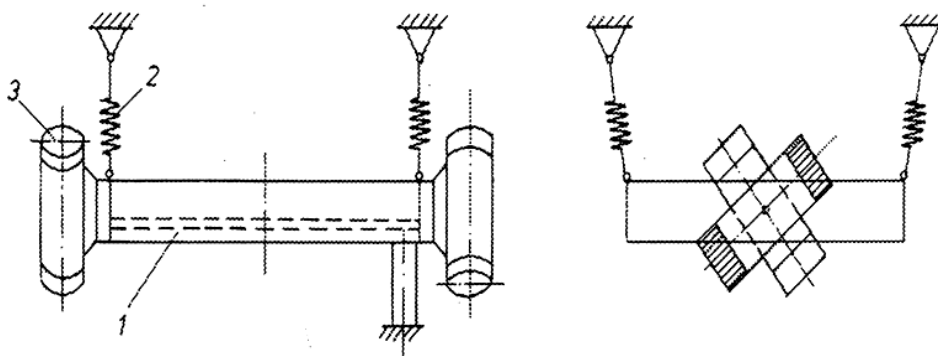
Ważnym zjawiskiem, obecnie wykorzystywanym w technice wibracji, jest efekt samo-synchronizacji wibratorów elektrycznych, obracających się wałów napędowych. Zjawisko to polega na samoistnym wpadaniu w obroty synchroniczne dwóch lub wielu wałów niewyważonych, które są osadzone w jednym ciele sztywnym. Powoduje to synchroniczny ruch drgający całej masy, tj. np. płyty sztywnej, samych wibratorów, jak i kolumny sitowej zamocowanej do płyty.

W technice przesiewania częściej wykorzystuje się przypadek synchronizacji współbieżnej. W tym przypadku dwa wały niewyważone obracają się w tych samych kierunkach. Przy synchronizacji współbieżnej płyta sztywna łącząca wibratory podlega dużo mniej-

* Praca wykonana w ramach grantu rozwojowego finansowanego przez MNiSW zgłoszonego w ramach X konkursu projektów rozwojowych pt.: Dostosowanie przesiewacza wibracyjnego wg P-191474 do kalibracji nasion (nr rejestracyjny N R12 0005 10).

szym przeciążeniami niż w przypadku synchronizacji przeciwbieżnej, a materiał ziarnisty porusza się na płaszczyźnie sita ruchem obwodowym. Pod względem teoretycznym układy te zostały opisane w literaturze szczegółowo przez Blechmana (1971).

Podstawą pracy przesiewaczy jest drgająca płyta sztywna, która wykonuje ruchy śrubowe na płaszczyźnie poziomej XY i ruchy pionowe względem osi Z (rys. 1). Cały układ jest zawieszony lub podparty sprężyszciami.



Źródło: Poćwiardowski i in., (2011)

Rysunek 1. Układ śrubowy z dwoma wibratorami: 1 – płyta sztywna, 2 – zawieszenie sprężyste, 3 – wibratory elektryczne

Figure 1. Screw system with two vibrators: 1 – VSS plate, 2 – elastic suspension, 3 – electric vibrators

Do napędu urządzeń przesiewających służą dwa silniki z niewyważonym wałem napędowym, umiejscowione symetrycznie po obu stronach pod różnym kątem od 0, 45 i 90° w stosunku do pionu. Silniki w przesiewaczach pracują we wzajemnej samosynchronizacji współbieżnej.

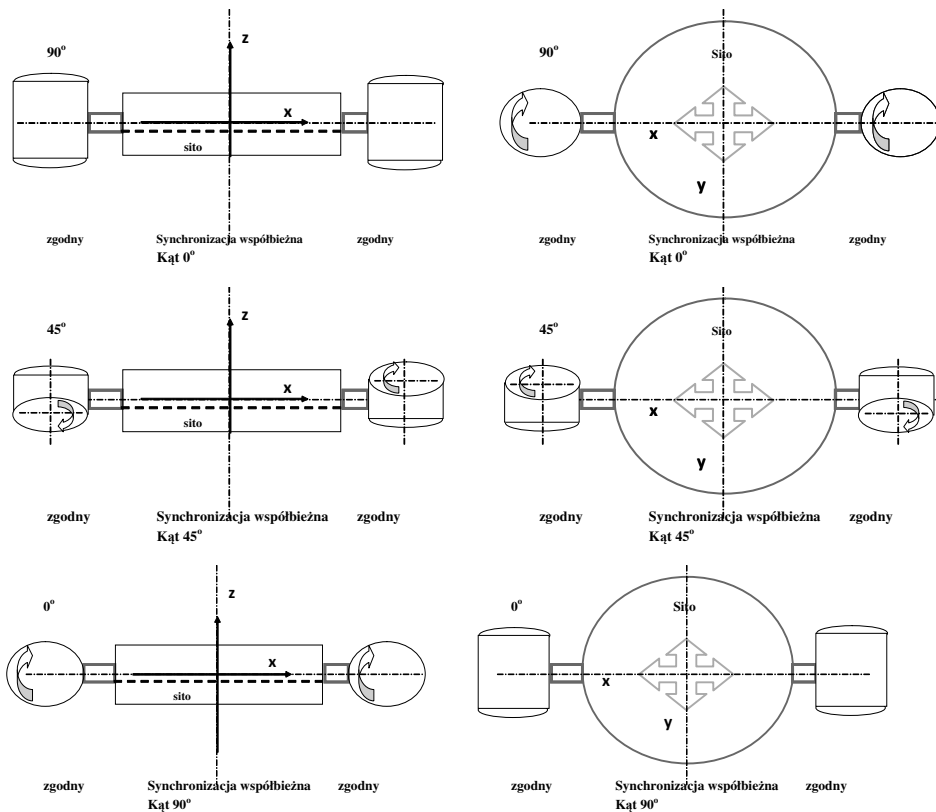
Cel i zakres pracy

Celem pracy jest pomiar amplitudy drgań skrętnych przesiewacza na płaszczyźnie poziomej XY i drgań posuwisto-zwrotnych w płaszczyźnie pionowej osi Z, dla trzech kątów położenia wibratorów 0, 45 i 90°. Badania prowadzono dla dwóch wielkości siły wymuszającej wibrację: 50% i 90% siły maksymalnej wibratorów, i zmiennej masy kolumny sitowej przesiewacza zależnej od ilości pokładów sitowych.

Metody badawcze

Obiektem badań był przesiewacz wielopokładowy (rys. 3). Przesiewacz ten składał się z podstawy, do której zamocowano kolumnę sitową złożoną z segmentów, między którymi

umieszcza się sito. Na podstawie kolumny spoczywa pierwszy segment dolny przesiewacza, do którego zamocowano umieszczone naprzeciw siebie dwa elektrowibratory dla generowania drgań (rys. 2).



Rysunek 2. Synchronizacja współbieżna wibratorów dla kąta 0° , 45° i 90°
 Figure 2. Concurrent synchronization of a vibrator for the angle 0° , 45° and 90°

Wibratorami były trójfazowe silniki elektryczne z niewyważonymi masami zamocowanymi na obu końcach wału silnika. Zastosowano wibratory z firmy VIBRA Pol z Poznania (typ BM 200/15 obroty nominalne $1500 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$, napięcie 380 V, prąd 0,45 A, moc 180 W, masa 11 kg z regulowaną siłą wymuszającą wibrację o wartości 2 030 N).

Siłę wymuszającą wibrację dla wibratorów BM 200/15 ustawiono, przesuwając przeciwwagi do wartości siły odczytanej na tarczy: 50, 70, 80, 90, 97 i 100% wartości maksymalnej. Przeciwwagi po obydwu stronach wibratora ustawiamy na tę samą wartość. Wibratory mogą pracować współbieżnie (rys. 2) i przeciwbieżnie.

Kąt ustawienia wibratorów względem pionu ustala się przez obrót wibratora na kołnierzu mocującym z naniesioną skalą w stopniach w zakresie od 0 do 90° .

Płaszczyzna pozioma przesiewacza na skutek pracy wibratorów wykonuje złożony ruch drgający, który można rozłożyć na: ruch obrotowo-powrotny względem osi pionowej i ruch posuwisto-zwrotny względem osi pionowej. O parametrach tego ruchu można wnioskować, badając składowe amplitudy przy pomocy miernika amplitudy, na którym rejestrowane są składowe poziome OXY i prostopadłe do płaszczyzny stołu wibracyjnego osi OZ.

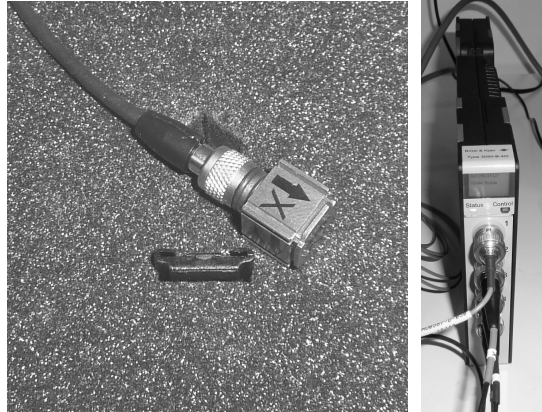
Ruch materiału ziarnistego odbywa się na płaszczyźnie poziomej.



Rysunek 3. Kalibrator śrubowy z dwoma wibratorami
Figure 3. Screw calibrator with two vibrators

Źródło: Poćwiardowski i in., (2012)

Badania prowadzono z dwoma wibratorami, dla dwóch wielkości siły wymuszającej wibracje: 2 031 N i 50% oraz 3 656 N i 90%, dla drgań przy synchronizacji współbieżnej i dla kąta położenia wibratorów 0, 45 i 90°. Na podstawie wskazań akcelerometru firmy Brüel&Kjaer – XYZ zapisywano wielkości amplitudy i obliczano moment roboczy dla obciążania stołu kolejnymi masami pokładów sitowych (tab. 1). Akcelerometr był mocowany na sicie w 2/3 odległości od osi pionowej kalibratora.



Rysunek 4. Akcelerometr (po lewej) i kaseta pomiarowa systemu PULSE firmy Brüel&Kjaer

Figure 4. An accelerometer (on the left) and a measurement cartridge of PULSE system by Brüel&Kjaer

Tabela 1

Masa kolumny sitowej

Table 1

Mass of the screen column

Liczba pokładów sitowych	4	5	6	7	8
Masa kolumny sitowej (kg)	130	145	154	170	183

Moment roboczy przesiewacza wibracyjnego przy synchronizacji współbieżnej wibratorów

Moment roboczy drgań poziomych i pionowych przesiewacza wibracyjnego z dwoma wibratorami z synchronizacją współbieżną obliczano dla kąta pochylenia wibratorów 0, 45 i dla kąta 90°, i dla dwu sił wymuszających wibracje 2 030 N i 3 656 N. Moment ten można zapisać w postaci:

$$M_{xyz} = m_{sum} \cdot s_{xyz} \cdot g \quad (1)$$

gdzie:

- M_{xyz} – moment roboczy drgań poziomych i pionowych (N·m),
- g – przyspieszenie ziemskie ($m \cdot s^{-2}$),
- s_{xyz} – amplituda drgań na mierzonej płaszczyźnie (m),
- m_{sum} – całkowita masa drgająca (kg).

Równanie (2) jest równaniem liniowym przechodzącym przez początek układu. Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w tabelach 2, 3 i 4 oraz na wykresach (rys. 5 i 6).

Prędkość obwodowa nasion w przesiewaczu

W płaszczyźnie poziomej siła wypadkowa wywołuje ruch obwodowy nasion po sicie. Prędkość obwodowa została zmierzona dla okręgu o średnicy 0,60 m dla kątów od 0 do 90° co 10°. Pomiary wykonano, kładąc znacznik (krążek z papieru) na poruszające się nasiona. Mierzono czas jednego pełnego obiegu znacznika po obwodzie sita i na tej podstawie obliczano prędkość obwodową nasion. Prędkość oblicza się poprzez podstawienie wartości do wzoru, np.

$$v = \frac{s}{t} \quad (2)$$

gdzie:

- s – droga (m),
- t – czas (s),
- v – prędkość ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Stosowane wzory są uzależnione od pokonywanej drogi oraz kształtu urządzenia (Banaszewski, 1990; Banaszewski i in., 2003).

Wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 7) dla stałej siły równej 3656 N wymuszającej vibracje i dla kolejnych sit od 4 do 8 dla masy obciążającej przesiewacz od 130 kg do 183 kg.

Wyniki badań

Tabela 2

Wartości momentów roboczych dla kąta 0°

Table 2

Working moment values for 0° angle

Siła	Pokłady	Masa	SX	MX	SY	MY	SZ	MZ
(N)	(szt.)	(kg)	(m)	(N·m)	(m)	(N·m)	(m)	(N·m)
3656	8	183	0,00063	1,13099	0,00013	0,23338	0,00012	0,21543
3656	7	170	0,00066	1,10068	0,00014	0,23348	0,00012	0,20012
3656	6	154,6	0,00069	1,04647	0,00013	0,19716	0,00013	0,19716
3656	5	145	0,00077	1,09529	0,00013	0,18492	0,00012	0,17069
3656	4	130	0,00085	1,08401	0,00012	0,15304	0,00012	0,15304
średnia			1,09149±0,03059	średnia	0,20039±0,03419	średnia	0,18729±0,02501	
2031	8	183	0,00035	0,62833	0,00014	0,25133	0,00013	0,23338
2031	7	170	0,00037	0,61705	0,00015	0,25016	0,00012	0,20012
2031	6	154,6	0,0004	0,60665	0,00014	0,21233	0,00013	0,19716
2031	5	145	0,00045	0,64010	0,00013	0,18492	0,00012	0,17069
2031	4	130	0,00049	0,62490	0,00013	0,16579	0,00013	0,16579
średnia			0,62341±0,01251	średnia	0,21290±0,03830	średnia	0,19343±0,02709	

Tabela 3

Wartości momentów roboczych dla kąta 45°

Table 3

Working moment values for 45° angle

Siła	Pokłady	Masa	SX	MX	SY	MY	SZ	MZ
(N)	(szt.)	(kg)	(m)	(N·m)	(m)	(N·m)	(m)	(N·m)
3656	8	183	0,0004	0,71809	0,00013	0,23338	0,00053	0,95147
3656	7	170	0,00042	0,70043	0,00014	0,23348	0,00055	0,91724
3656	6	154,6	0,00043	0,65215	0,00013	0,19716	0,00061	0,92514
3656	5	145	0,00047	0,66855	0,00013	0,18492	0,00071	1,00994
3656	4	130	0,00052	0,66316	0,00014	0,17854	0,00081	1,03299
średnia			0,68048±0,02765	średnia	0,20550±0,02636	średnia	0,96736±0,05164	
2031	8	183	0,00024	0,43086	0,00013	0,23338	0,00031	0,55652
2031	7	170	0,00025	0,41693	0,00014	0,23348	0,00033	0,55034
2031	6	154,6	0,00026	0,39432	0,00013	0,19716	0,00036	0,54599
2031	5	145	0,00029	0,41251	0,00016	0,22759	0,00041	0,58320
2031	4	130	0,000319	0,40682	0,00014	0,17854	0,00047	0,59939
średnia			0,41229±0,01341	średnia	0,21403±0,02490	średnia	0,56709±0,02313	

Tabela 4

Wartości momentów roboczych dla kąta 90°

Table 4

Working moment values for 90° angle

Siła	Pokłady	Masa	SX	MX	SY	MY	SZ	MZ
(N)	(szt.)	(kg)	(m)	(N·m)	(m)	(N·m)	(m)	(N·m)
3656	8	183	0,00014	0,25133	0,00013	0,23338	0,00081	1,45414
3656	7	170	0,00012	0,20012	0,00013	0,21680	0,00079	1,31748
3656	6	154,6	0,00014	0,21233	0,00014	0,21233	0,0009	1,36496
3656	5	145	0,00013	0,18492	0,00014	0,19914	0,00101	1,43667
3656	4	130	0,00013	0,16579	0,00013	0,16579	0,00112	1,42834
średnia			0,20290±0,03218	średnia	0,20549±0,02534	średnia	1,40032±0,05726	
2031	8	183	0,00012	0,21543	0,00014	0,25133	0,00043	0,77195
2031	7	170	0,00013	0,21680	0,00014	0,23348	0,00046	0,76714
2031	6	154,6	0,00013	0,19716	0,00013	0,19716	0,00051	0,77348
2031	5	145	0,00012	0,17069	0,00013	0,18492	0,00058	0,82502
2031	4	130	0,00013	0,16579	0,00013	0,16579	0,00067	0,85445
średnia			0,19317±0,02411	średnia	0,20654±0,03517	średnia	0,79841±0,03921	

Tabela 5

Zależność momentu roboczego od kąta położenia wibratorów dla siły 2031 N (50% siły maksymalnej)

Table 5

Dependency of the working moment on the placement angle of vibrators for the force 2,031 (N) (50 (%) of the maximum force)

Oś drgań	Kąt położenia wibratorów (°)	Siła wymuszająca wibracje (N)	Średni moment roboczy (N·m)
X50	0	2031	0,62341
X50	45	2031	0,41223
X50	90	2031	0,19317
Y50	0	2031	0,21290
Y50	45	2031	0,21403
Y50	90	2031	0,20654
Z50	0	2031	0,19343
Z50	45	2031	0,56709
Z50	90	2031	0,79841

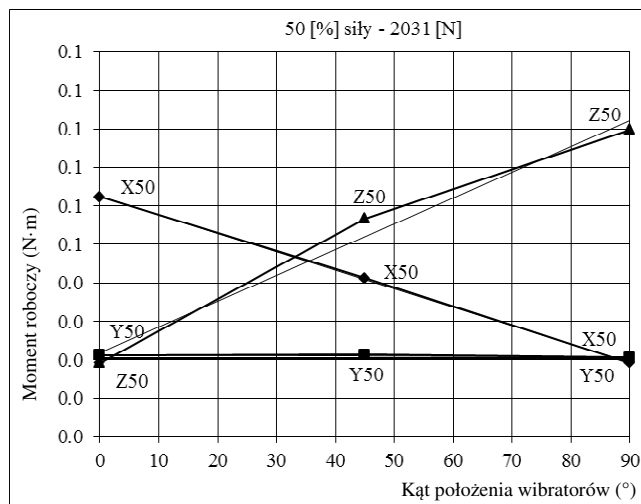
Tabela 6

Zależność momentu roboczego od kąta położenia wibratorów dla siły 3 656 N (90% siły maksymalnej)

Table 6

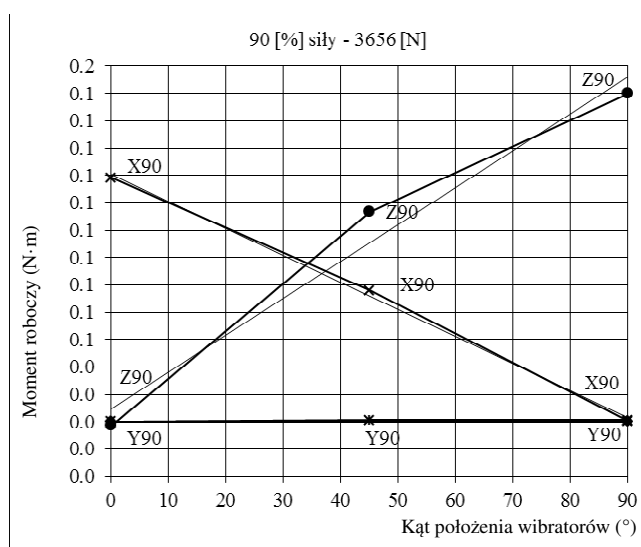
Dependency of the working moment on the placement angle of vibrators for the force 3,656 (N) (90 (%) of the maximum force)

Oś drgań	Kąt położenia wibratorów (°)	Siła wymuszająca wibracje (N)	Średni moment roboczy (N·m)
X90	0	3656	1,09149
X90	45	3656	0,68048
X90	90	3656	0,20290
Y90	0	3656	0,20039
Y90	45	3656	0,20550
Y90	90	3656	0,20549
Z90	0	3656	0,18729
Z90	45	3656	0,96736
Z90	90	3656	1,40032



Rysunek. 5 Zależność momentu roboczego od kąta położenia wibratorów dla 50% siły wymuszającej (2031 N)

Figure 5. Dependency of the working moment on the placement angle of vibrators for the force 50 (%) of the exciting force (2031 N)



Rysunek. 6 Zależność momentu roboczego od kąta położenia wibratorów dla drgań współbieżnych dla 90% siły wymuszającej (3656 N)

Figure 6. Dependency of the working moment on the placement angle of vibrators for concurrent vibrations 90 (%) of the exciting force (3656 N)

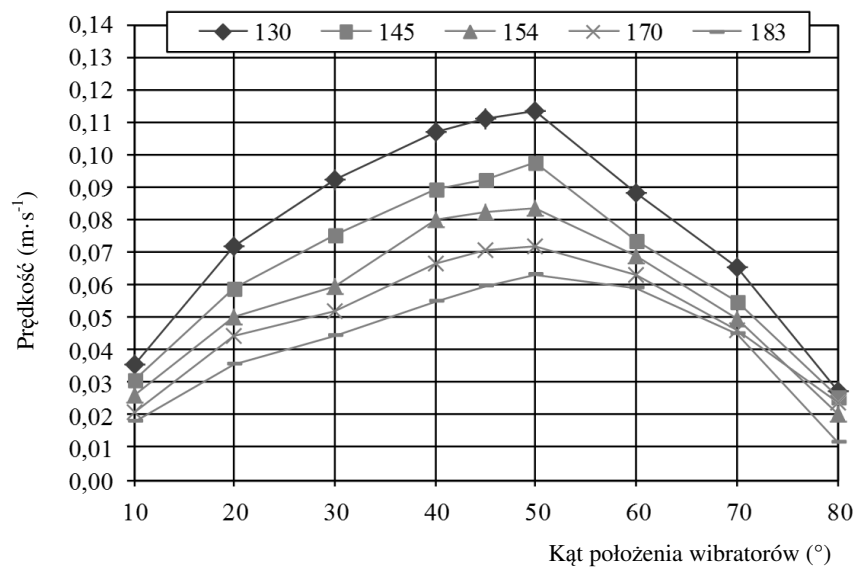
Tabela 7

Zależność momentów roboczych dla drgań współbieżnych względem osi XYZ dla kątów 0, 45, 90°

Table 7

Dependency of working moments for concurrent vibrations towards XYZ axis for angles 0, 45, 90°

Siła 2 031 (N)	Moment roboczy (N·m)	Współczynnik determinacji R^2
X	$Y_{0-90} = -0,0048 \cdot x + 0,6247$	0,9999
Y	~0,21	0,999
Z	$Z_{0-90} = 0,0067 \cdot x + 0,2172$	0,9819
Siła 3 656 (N)	Moment roboczy (N·m)	Współczynnik determinacji R^2
X	$Y_{0-90} = -0,0099 \cdot x + 1,1026$	0,9981
Y	~0,21	0,999
Z	$Z_{0-90} = 0,0135 \cdot x + 0,2451$	0,9734



Rysunek. 7 Prędkość obwodowa materiału ziarnistego dla drgań od siły wymuszającej wibracje 3 656 N (90%) i kąta położenia wibratorów dla zmiennej masy obciążającej stół wibracyjny od 130 do 183 kg

Figure 7. Peripheral speed of the granular material for vibrations from the force exciting vibrations 3, 656 N (90%) and the angle of placement of vibrators for variable mass loading the vibrating table from 130 to 183 kg

Podsumowanie

Pomiar wartości amplitudy drgań dla przesiewacza wibracyjnego z dwoma wibratorami pracującymi w systemie synchronizacji współbieżnej, pozwolił na odpowiedni ich dobór dla dużej sprawności przesiewania wielopokładowego kalibratora, z obiegiem obwodowym nasion po sicie. Wyniki momentu roboczego obliczone według równania (2) pozwoliły na właściwy wybór zakresu sił wibratorów.

Moment roboczy zmienia się najbardziej dla drgań poziomych X i pionowych Z (rys. 5 i 6)

1. Moment roboczy dla osi X ze wzrostem kąta maleje
 - dla siły 2 031 N dla $0^\circ=0,62341 \text{ N}\cdot\text{m}$ i dla $90^\circ=0,19317 \text{ N}\cdot\text{m}$,
 - dla siły 3 656 N dla $0^\circ=1,09149 \text{ N}\cdot\text{m}$ i dla $90^\circ=0,20290 \text{ N}\cdot\text{m}$.
2. Moment roboczy dla osi Z ze wzrostem kąta rośnie
 - dla siły 2 031 N dla $0^\circ=0,19343 \text{ N}\cdot\text{m}$ i dla $90^\circ=0,79841 \text{ N}\cdot\text{m}$,
 - dla siły 3 656 N dla $0^\circ=0,18729 \text{ N}\cdot\text{m}$ i dla $90^\circ=1,40032 \text{ N}\cdot\text{m}$
3. Pozostałe momenty robocze przesiewacza są stałe i wynoszą ok. $0,20 \text{ N}\cdot\text{m}$.
4. Zastosowany napęd w postaci dwóch wibratorów umieszczonych symetrycznie po obydwu stronach kalibratora, pracujący w systemie kalibracji współbieżnej, wywołuje ruchy przestrzenne urządzenia w trzech płaszczyznach (drgania płaskie oraz pionowe).
5. Amplituda drgań przesiewacza uzależniona jest od użytej siły wymuszającej wibrację i masy pokładów sitowych oraz kąta położenia wibratorów.
6. Ruch obwodowy na sicie wywołany jest siłą wypadkową XY i osiąga wartości maksymalne dla kątów w zakresie $45\text{--}50^\circ$.
7. Prędkość obwodowa ziarna poruszającego się na sitach zależy od wartości siły wymuszającej wibrację oraz kąta położenia samych wibratorów.
8. Maksimum prędkości obwodowej nasion występuje dla kąta położenia wibratorów $45\text{--}50^\circ$ i jest to prędkość tym większa, im mniejsza jest sumaryczna masa pokładów sitowych przesiewacza.
9. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w budowie układu z napędem wibracyjnym do budowy: podajników wibracyjnych poziomych i pionowych, mieszalników ciał stałych, suszarek wibracyjnych, młynów kulowych i granulatorów.

Literatura

- Banaszewski, T. (1990). *Przesiewacze*. Katowice, Wydawnictwo Śląsk, ISBN 83-216-0848-5.
- Banaszewski, T.; Filipowicz, A. (2003). *Prędkość ziarna na pokładzie przesiewacza typu WK*. Inżynieria mineralna, Polskie Towarzystwo Przeróbki Kopalin, ISSN: 1640-4920.
- Blechman, I.I. (1971). *Synchronization of Dynamical Systems*, Nauka (in Russian), Moscow, 852.
- Błasiński, H.; Młodziński, B. (1971). *Aparatura przemysłu chemicznego*, WNT.
- Domoradzki, M.; Korpala, W.; Weiner, W. (2002). Badania kalibracji nasion warzyw. *Inżynieria Rolnicza*, 9(42), 75-82.
- Grochowicz, J. (1994). *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*. Lublin, WAR, ISBN 83-901612-9-X.
- Poćwiardowski, W.; Korpala, W. (2010). Analiza przesiewania nasion marchwi przez sita przesiewacza wibracyjnego, *Inżynieria Rolnicza*, 4(122), 179-187.

- Poćwiardowski, W.; Wodziński, P. (2011). *Przesiewanie surowców mineralnych na przesiewaczu zataczającym*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 132, ISSN 0370-0798.
- Poćwiardowski, W.; Wodziński, P. (2011). Przesiewanie materiałów biologicznych w przesiewaczach rotacyjnych, *Rocznik Ochrony Środowiska*, 13, 1115-1131.
- Poćwiardowski, W.; Wodziński, P.; Kaniewska, J. (2012). *Przesiewanie kruszywa wapiennego na przesiewaczu zataczającym – śrubowym*, Górnictwo i geologia XVII – Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 134, ISSN 0370-0798.
- Wodziński, P. (1997). *Przesiewanie i przesiewacze*. Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, ISBN 83-87198-06-4.

DESCRIPTION OF THE SCREEN WITH TWO VIBRATORS SYNCHRONISED CONCURRENTLY

Abstract. Vibration amplitude of the vibrating screen with two vibrators synchronised concurrently was researched. Impact of the vibrators operational parameters and the screen mass on the vibration amplitude in the spatial distribution for XYX axis and on the circuit movement of seeds on the screen was measured. The operational moment towards the X axis decreases along with the increase of the vibrators angle of placement; towards Z axis it increases along with the increase of this angle. The remaining operational moments are fixed at the changes of the vibrators angle of placement. Usages of the researched system for vibration machines drive, such as dispensers, mixers and vibration drivers, were suggested.

Key words: vibrating screen, vibrating concurrent system

Adres do korespondencji:

Wojciech Poćwiardowski; e-mail: wojciech.pocwiardowski@utp.edu.pl
Katedra Technologii i Aparatury Przemysłu Chemicznego i Spożywczego
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Seminaryjna 3
85-326 Bydgoszcz