

Remigiusz MODRZEWSKI*
Piotr WODZIŃSKI

KONCEPCJA PRZESIEWACZY BĘBNOWO-STOŻKOWYCH O ZRÓŻNICOWANYCH ŚREDNICACH SIT DO PRZESIEWANIA KRUSZYW

Opracowanie opisuje przesiewacze bębnowe w świetle nowych wyników badań tych maszyn, wykonanych w ostatnich latach w Politechnice Łódzkiej. Uwzględnia także najnowsze osiągnięcia konstrukcyjne w tej dziedzinie. Wydaje się, że nowoczesne przesiewacze bębnowe powinny być maszynami szybkobieżnymi, tzn. takimi w których wyróżnik szybkobieżności (stosunek prędkości kątowej bębna do prędkości wirowania), powinien być na poziomie $0,8\pm 0,9$, a nie $0,3\pm 0,4$, jak to ma miejsce w obecnie eksploatowanych przesiewaczach.

1. WSTĘP

Przesiewacze bębnowe były najprawdopodobniej pierwszymi mechanicznymi, napędzanymi maszynami przesiewającymi. Wcześniejsze były jedynie przesiewacze ręczne oraz rusztowe przesiewacze statyczne. Przesiewacze bębnowe są proste w budowie oraz w wykonaniu. Do ich napędu, czyli do wywołania ruchu obrotowego bębna używa się tradycyjnych układów napędowych, złożonych z silnika elektrycznego, przekładni zębatej oraz napędu łańcuchowego lub zębatego. Nierzadko przesiewacze bębnowe pracują w obudowie pyłoszczelnej, spełniającej jednocześnie rolę obudowy wyciszającej. Do wad przesiewaczy bębnowych zaliczyć należy niskie wydajności jednostkowe – procesowe, duże opory tarcia, a w ślad za tym zwiększone zapotrzebowanie mocy, duże gabaryty i problemy związane z blokowaniem się otworów sitowych. Widać, że wady przeważają nad zaletami i zapewne to właśnie spowodowało zanikanie tych konstrukcji w technice przesiewania.

Jeżeli chodzi o przesiewanie kruszyw mineralnych, to maszyny te stanowią obecnie niewielki ułamek ogółu wykorzystywanych przesiewaczy [3]. Jednakże coraz częściej obserwuje się nawrót do stosowania przesiewaczy bębnowych. Wydaje się, że

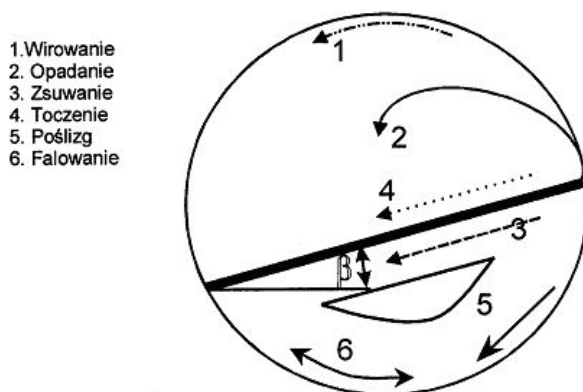
* Politechnika Łódzka, W-10, K-101, Łódź, modrzews@wipos.p.lodz.pl, wodzinsk@wipos.p.lodz.pl

wielu użytkowników maszyn przesiewających chciałoby się pozbyć powszechnie stosowanej techniki wibracyjnej, nie zastanawiać się nad dynamicznym zrównoważeniem dużych przesiewaczy i nie mieć do czynienia z problemami rozbiegu i dobiegu tych maszyn [1].

Niniejszy artykuł opisuje serię nowych konstrukcji przesiewaczy bębnowych, które mogą znaleźć zastosowanie w różnych branżach gospodarki i pracować tam w charakterze nowoczesnych maszyn przesiewających.

2. RUCH MATERIAŁU W PRZESIEWACZU BĘBNOWYM

Podstawowym parametrem charakteryzującym pracę aparatu bębnowego jest prędkość wirowania, zwana również prędkością krytyczną. Jest to więc taka prędkość, po przekroczeniu której mamy do czynienia z przyleganiem cząstek znajdujących się w bębnie do pobocznic bębna (sita), co skutkuje zatrzymaniem procesu przesiewania. Zazwyczaj ruch aparatu bębnowego jest opisywany poprzez tzw. wyróżnik szybkobieżności E , czyli stosunek roboczej prędkości obrotowej bębna u_r do prędkości wirowania u_{kr} .



Rys. 1. Ruch ziaren w przesiewaczu bębnowym
Fig. 1. The movement of grains in the drum sifter

Dla prędkości nieco mniejszych od prędkości krytycznych, mamy do czynienia z ruchem kaskadowym cząstek (rys. 1), które unoszone są na pewną wysokość, a następnie swobodnie opadają po oderwaniu się od powierzchni wewnętrznej bębna. Ten rodzaj ruchu nazywamy opadaniem [2]. Przy dalszym spadku prędkości obrotowej, przekrój poprzeczny złoża przybiera charakterystyczny kształt warstw, a wewnątrz złoża – równoległe do osi obrotu bębna – tworzy się stabilny rdzeń materiału. Po nachylonej powierzchni złoża zsuwają się kolejne warstwy ziaren. Takie poruszanie się ziaren w aparacie bębnowym nazywamy zsuwaniem i toczeniem. W przypadku dal-

szego zmniejszania się prędkości obrotowej bębna, swobodna powierzchnia złoża ulega wyprostowaniu, zaś grubość warstwy poruszającej się po powierzchni swobodnej maleje.

W warunkach wyjątkowo niskiej prędkości aparatu bębnowego w ruchu obrotowym, możemy uzyskać kołysanie się złoża (falowanie). Taki ruch odbywa się tylko w gładkim bębnie bez przegród. W przypadku, gdy w bębnie zastosowano przegrody (progi), mamy do czynienia z innym rodzajem ruchu złoża, który najwłaściwiej byłoby określić mianem opadania. Jednakże w takim przypadku wszystko zależne jest od budowy tych przegród. Na ogół w aparacie bębnowym mamy 6 do 8 przegród, równomiernie rozmieszczonych na obwodzie bębna. Przegrody te powodują opadanie materiału w zasadzie niezależnie od prędkości obrotowej, bowiem podnoszą one pewną porcję materiału aż do momentu zsunęcia się jej z przegrody.

W obecnie budowanych przesiewaczach wartość wyróżnika szybkobieżności E zmienia się w granicach 0,3–0,4. Zapewnia to ruch złoża w aparacie bębnowym poprzez zsuwanie lub toczenie (rys. 1). Aby przesiewanie w aparacie bębnowym odbywało się w sposób intensywny, konieczne jest utrzymanie wyróżnika szybkobieżności na poziomie 0,8–0,9. Wówczas mieć będziemy do czynienia z ruchem kaskadowym złoża (opadaniem). Jednak utrzymanie obrotów bębnowych w tych wąskich granicach w istniejących maszynach jest ze względów konstrukcyjnych bardzo trudne. Jest to bowiem blisko prędkości wirowania, której przekroczenie oznaczałoby zatrzymanie procesu przesiewania.

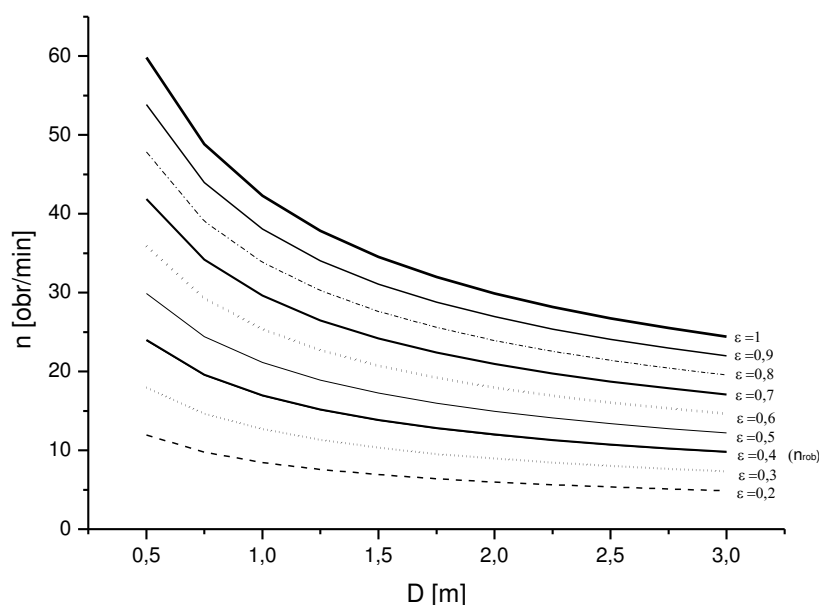
Tabela 1

Prędkości obrotowe i średnice przesiewaczy bębnowych

D	R	n_{kr}	Wyróżnik szybkobieżności E								n_{rob}
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
[m]	[m]	[obr/min]	pośrednie prędkości obrotowe n [obr/min]								[obr/min]
0,50	0,250	59,82	11,96	17,95	23,93	29,91	35,89	41,87	47,86	53,84	24,00
0,75	0,375	48,84	9,768	14,65	19,54	24,42	29,30	34,19	39,07	43,96	19,60
1,00	0,500	42,30	8,460	12,69	16,92	21,15	25,38	29,61	33,84	38,07	16,97
1,25	0,625	37,83	7,566	11,35	15,13	18,91	22,70	26,48	30,26	34,05	15,18
1,50	0,750	34,54	6,908	10,36	13,82	17,27	20,72	24,18	27,63	31,09	13,86
1,75	0,875	31,98	6,396	9,50	12,79	15,99	19,19	22,39	25,58	28,78	12,82
2,00	1,000	29,91	5,982	8,97	11,96	14,96	17,95	20,94	23,93	26,98	12,00
2,25	1,125	28,20	5,640	8,46	11,28	14,10	16,92	19,74	22,56	25,38	11,31
2,50	1,250	26,75	5,350	8,02	10,70	13,37	16,05	18,72	21,40	24,07	10,73
2,75	1,375	25,51	5,102	7,65	10,20	12,75	15,31	17,86	20,41	22,96	10,23
3,00	1,500	24,42	4,884	7,33	9,768	12,21	14,65	17,09	19,54	21,98	9,80

W tabeli 1 zestawiono średnice i promienie wewnętrzne bębnow oraz policzone dla nich wartości prędkości krytycznej, a także pośrednie prędkości obrotowe. Średnica bębna zmienia się w zakresie od 0,5 do 3,0 m; jest to zakres spotykany w przesiewaczach przemysłowych. Natomiast na rysunku 2 pokazano wykres, w którym na osi odciętych odłożono średnice bębna D [m], a na osi rzędnych prędkości obrotowe bębna n [obr./min]. Każda krzywa została zbudowana dla danej wartości wyróżnika szybkości.

Przesiewacze bębnowe wykorzystują 1/6–1/8 powierzchni sitowej maszyny, co stanowi istotną ich wadę, w porównaniu do przesiewaczy o sitach płaskich.



Rys. 2. Zależność prędkości obrotowej przesiewacza bębnowego od średnicy bębna
Fig. 2. The dependence of the rotatory speed of drum sifter from the diameter of the drum

Proces przesiewania w tych przesiewaczach był do tej pory badany głównie empirycznie, przy czym zdecydowana większość doświadczeń dotyczy przemysłu kruszyw mineralnych. Do wyznaczenia średnicy bębna autorzy rosyjscy proponują wzór:

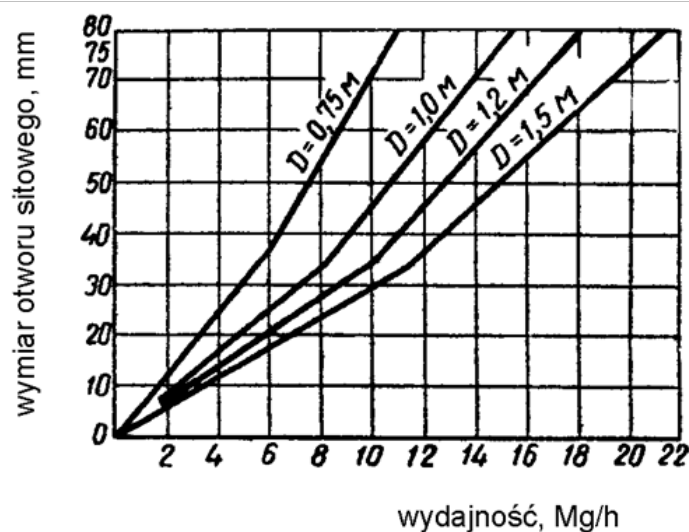
$$D = 20,23 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\gamma}}$$

gdzie:

- D – średnica bębna, [m],
- Q – wydajność przesiewania liczona na nadawę, [Mg/h],
- γ – ciężar właściwy kruszywa przesiewanego, [g/cm^3].

Do wyznaczania ruchowej wydajności przesiewacza służy empiryczny wykres (rys. 3). Na osi rzędnych przedstawiono wymiary otworów sitowych, a na osi odciętych wydajność w [Mg/h]. Poszczególne linie odnoszą się do różnych średnic sit, wyrażonych w metrach.

Dodatkowe dane przesiewaczy bębnowych słusze dla kruszyw mineralnych pokazano w tabeli 2.

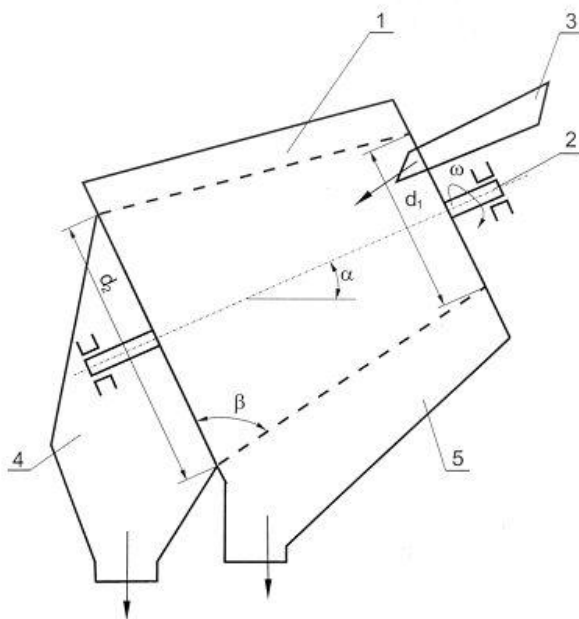


Rys. 3. Wyznaczanie wydajności sit bębnowych
Fig. 3. Marking the efficiency of drum sieves

3. NOWE KONSTRUKCJE PRZESIEWACZY BĘBNOWYCH

Jako nowe rodzaje przesiewaczy bębnowych opracowane zostały przesiewacze o bębnach stożkowych i kaskadowych oraz ich kombinacje. W 2005 roku wynalazki te zostały zgłoszone do Urzędu Patentowego RP, który udzielił na nie patentów w 2009 roku. Maszyny te mają dać wyraźną poprawę przebiegu procesu przesiewania w sensie większych skuteczności i wydajności. Ponadto w porównaniu do już istniejących rozwiązań, w istotny sposób zmieniona będzie konstrukcja samych bębnów, co ma umożliwić zastosowanie zwiększonych prędkości obrotowych. Uzyskanie dużych prędkości roboczych, trudne obecnie ze względów technicznych, będzie możliwe poprzez zmianę konstrukcji bębnów i ich posadowienia. Nowe proponowane konstrukcje byłyby bębnami z osiami obrotowymi, tzn. wałami biegnącymi w geometrycznej osi bębna. Równie istotna jest kwestia doboru odpowiedniej, zmniejszonej w stosunku do rozwiązań obecnych, średnicy bębnów.

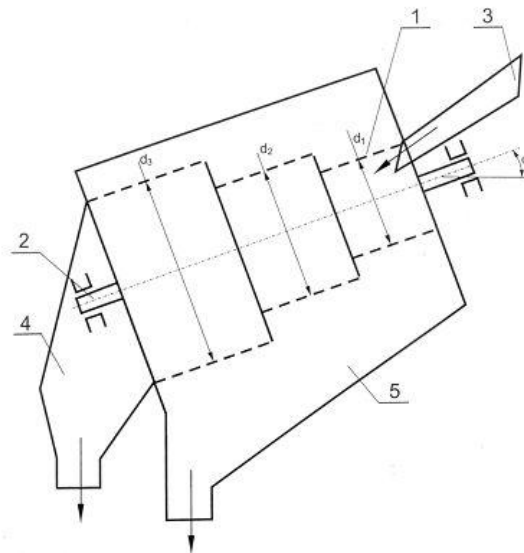
Pamiętać należy, że zmienna średnica bębna, przy niezminionej prędkości obrotowej oznacza zmianę charakteru ruchu złoża w bębnie. W klasycznych bębnach cylindrycznych ruch warstwy ziarnistej jest jednakowy w całej długości aparatu. Odmienne zachowywać się będzie złożo ziarniste w aparacie o bębnie stożkowym (rys. 4). Najpierw ma miejsce intensywne opadanie i szybki odsiew, a dalej w miarę zwiększania się średnicy bębna – zmiana charakteru ruchu na toczenie i odsiewanie pozostałej klasy dolnej. W efekcie otrzymujemy zmienny wyróżnik szybkobieżności, przy zmianie średnicy aparatu od d_1 do d_2 .



Rys. 4. Przesiewacz bębnowy – stożkowy
Fig. 4. The drum – conical screen

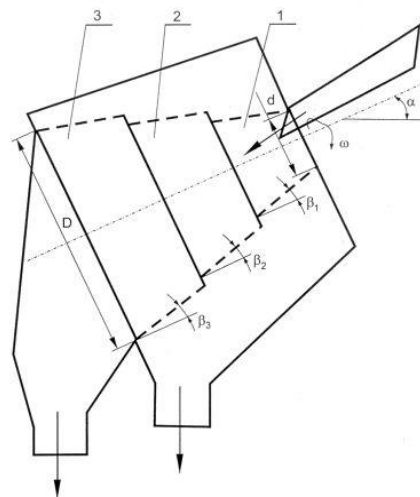
Zarówno w przypadku sit stożkowych, jak i kaskadowych, uzyskujemy zmianę wyróżnika szybkobieżności w jednym przesiewaczu, co jest korzystne, ponieważ w końcowej części bębna występuje nadawa już częściowo odsiana (o zmienionym składzie granulometrycznym). W materiale przesiewanym mamy większość ziaren dużych; bardzo drobne już zostały w większości odsiane.

W przypadku bębna kaskadowego (rys. 5) mamy ponadto wykorzystanie efektu przesypywania się materiału na kolejnych stopniach kaskady i jego dodatkowej segregacji. W kolejnych sekcjach o coraz większych średnicach będziemy mieli coraz mniej intensywny ruch warstwy przesiewanej, co zapewnia powolne i dokładne dosiewanie materiału. Dodatkowo w sekcjach o większych średnicach możliwe jest zamontowanie przegród.



Rys. 5. Przesiewacz bębnowy – kaskadowy
Fig. 5. The drum – cascade screen

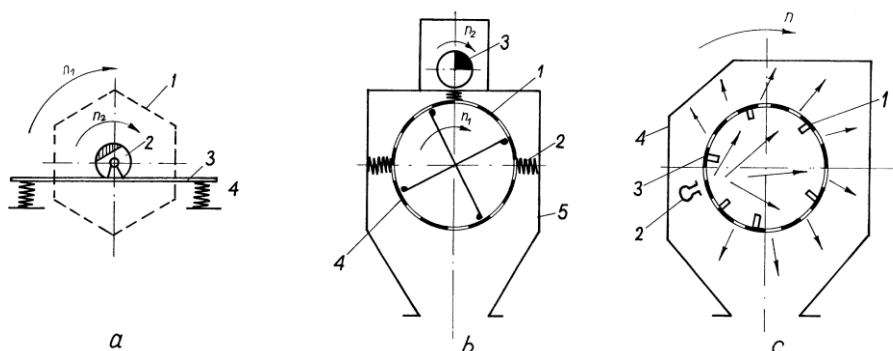
Przesiewacz kaskadowo-stożkowy (rys. 6) łączy w sobie cechy i zalety konstrukcji omówionych poprzednio.



Rys. 6. Przesiewacz kaskadowo-stożkowy
Fig. 6. The cascade-conical screen

Celem dalszych badań będzie poznanie przebiegu procesu przesiewania w nowych

bębnach sitowych, a następnie wyznaczenie najważniejszych parametrów ich pracy. Chodzi tu przede wszystkim o średnicę bębnów i ich optymalne prędkości kątowe w ruchu obrotowym. Kolejnym ważnym parametrem koniecznym do wyznaczenia będą kąty pochylenia bębnów do poziomu. Ma to znaczenie szczególnie w przesiewaczach przemysłowych o ruchu ciągłym, gdyż decyduje to o zdolności przepustowej tych maszyn.



Rys. 7. Metody intensyfikacji przesiewania w aparatach bębnowych
Fig. 7. Methods of the intensification of sifting in drum apparatuses

Inne możliwe do wprowadzenia modernizacji przesiewaczy bębnowych pokazano na rys. 7. Znane są bębny w postaci graniastosłupów o podstawie wielokątów foremnych, np. sześciokąta – rys. 7a. Do takiego aparatu bębnowego można dołączyć napęd wibracyjny, zapewniający ruch drgający osi bębna. Inny rodzaj przesiewacza bębnowego – cylindrycznego pokazano na rys. 7b; obok ruchu drgającego całego przesiewacza, występuje ruch krzyżaka wewnątrz bębna, który oczyszcza sito bębnowe i wspomaga przesiewanie. W pewnych wypadkach, np. przesiewanie materiałów bardzo drobno uziarnionych do oczyszczania otworów sitowych stosuje się nadmuch do wewnątrz bębna sitowego sprężonego powietrza (rys. 7c). Opisane powyżej udogodnienia mogą być zastosowane również w aparatach stożkowych i kaskadowych.

W tabeli 2 pokazano parametry charakterystyczne dla przesiewaczy bębnowych, stosowanych w przemyśle.

Zastosowanie nowych przesiewaczy bębnowo-stożkowych i kaskadowych może mieć miejsce w:

- górnictwie węglowym oraz surowców mineralnych (przeróbka kopalin),
- przemyśle chemicznym, spożywczym,
- ochronie środowiska (przeróbka odpadów komunalnych i mineralnych).

Tabela 2

Parametry przesiewaczy bębnowych

$D \times L$ bębna [mm \times mm]	Q , wydajność przesiewu $d = 75$ mm		Moc [kW]	n [obr/min]	Masa przesiewacza [Mg]
	wstępnego	dokładnego			
600×1800	18	8	3	26	1,36
600×3600	40	18	4	26	1,67
800×2400	36	16	4	22	2,54
800×4200	72	32	5	22	2,85
1000×3000	60	27	8	18	3,60
1000×6000	125	60	12	18	4,85
1200×3600	90	40	10	16	5,90
1200×6000	165	77	14	16	7,09
1500×3600	110	50	12	14	9,52
1500×6000	230	105	18	14	12,70
1800×4200	165	77	16	12	13,60
1800×7200	270	135	20	12	18,14
2100×4200	230	115	20	10	18,14
2100×9000	450	230	25	10	23,58

Przesiewacze bębnowe-stożkowe mogą pracować zarówno na sucho jak i mokro. Ciekawy jest wynik badań przemysłowych przesiewaczy bębnowych, uzyskany dla przesiewania kruszyw mineralnych. Okazało się, że przesiewanie na mokro (przy zachowaniu wszystkich wielkości charakterystycznych procesu) daje około 1,7 raza wyższą skuteczną wydajność procesową niż na sucho.

Dla surowców skalnych można założyć, że skuteczna wydajność przesiewania na sucho w przesiewaczu bębnowym wynosi 6,5 Mg w ciągu 24 godzin z 1 m² powierzchni sita bębnowego. Wielkość ta odnosi się do 1 mm wymiaru otworu sita (np. średnicy otworu sitowego). W przypadku przesiewania na mokro wydajność ta wynosi 11 Mg na 24 h i 1 m², przy 1 mm otworze sitowym. Większe otwory sitowe proporcjonalnie powiększają tę wydajność.

Kąt nachylenia osi bębnowych przesiewaczy wynosi 10–14°, ale najczęściej zawarty jest w granicach 40–70°. Sprawność przesiewania w przemysłowych przesiewaczach bębnowych, przy przesiewaniu surowców skalnych, waha się w granicach 40–60% i powinna znacząco wrosnąć po zastosowaniu proponowanych konstrukcji i ulepszeń.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej W-10/12/2012/Dz.St.

LITERATURA

- [1] DIETRYCH J., *Teoria i budowa przesiewaczy*, WGH, Katowice 1962.
- [2] OYAMA Y., *Studies on mixing of binary system of two size by ball mill motion*, *Php. Chem. – Research* 1940, No. 951, 17–29.
- [3] SZTABA K., *Przesiewanie*, WGH, Katowice 1993.

THE CONCEPTION OF DRUM-CONICAL SCREENS WITH THE GRADUATED DIAMETERS OF
SIEVES FOR MINERAL MATERIALS SCREENING

This work intended to describe drum screens in the light of new results of study on these machines carried out recently at the Technical University of Łódź. The latest designing achievements in this area have also been taken into account. It seems that modern drum screens should be high-speed machines, i.e. such in which high speed factor (the ratio of drum angular velocity to rotation velocity) should range from 0.8 to 0.9, and not from 0.3 to 0.4, as is the case in the currently operating screens.