

Innovations in the construction of industrial screens and granulators

Innowacje w konstrukcjach przesiewaczy i granulatorów przemysłowych

DOI: 10.15199/62.2021.4.9

A review, with 34 refs., of novel vibrating drum and rotary cone screens, inertial vibrators and vibrating disc granulators.

Przesiewacze i granulatory surowców mineralnych eksploatowane w przemyśle wykazują wiele wad i nie zawsze spełniają wymagania użytkowników. Dlatego w Politechnice Łódzkiej we współpracy z Akademią Kaliską opracowano koncepcję budowy i badań wielu nowoczesnych maszyn tego typu. Wynalazki te zostały zgłoszone do Urzędu Patentowego RP, który udzielił patentów na część z nich, pozostałe zaś są na etapie rozpatrywania.

Przesiewanie i granulacja materiałów ziarnistych stanowi niezbędny etap produkcji w wielu gałęziach przemysłu chemicznego, takich jak produkcja nawozów¹⁾, toryfikacja materiałów organicznych^{2, 3)} lub przetwarzanie odpadów przemysłowych np. pochodzących z produkcji skór⁴⁻⁶⁾. Autorzy niniejszego opracowania proponują nowe, ulepszone urządzenia do prowadzenia tych procesów. Przesiewaniu i granulacji towarzyszy zwykle konieczność transportu⁷⁾ i dozowania materiałów dostarczanych do poszczególnych urządzeń i tutaj nową propozycją jest wibrator z regulacją mechaniczną, który znakomicie może się sprawdzić jako napęd dozownika lub podajnika. Możliwe jest zatem zestawienie w jednej linii technologicznej kilku opisywanych tu urządzeń, gdyż proces granulacji poprzedza zwykle przygotowanie surowca polegające na ujednoliceniu wymiarów ziaren poprzez ich rozdrabnianie i przesiewanie.

Przesiewacze bębnowe wibracyjne

Przesiewacze i granulatory bębnowe^{8, 9)} są wyposażone w obrotowe walce o osi obrotu nachylonej pod niewielkim kątem do poziomu. Materiał ziarnisty jest podawany do wnętrza sita lub bębna walcowego i wskutek jego ruchu obrotowego przemieszcza się w kierunku osiowym i obwodowym, jednocześnie przesiewając się przez to sito lub (w przypadku granulatorów) podlegając aglomeracji. Wadą znanych przesiewaczy bębnowych jest niewielka skuteczność rozdzielania spowodowana głównie małą dynamiką ruchu warstwy ziarnistej wewnątrz bębna sitowego oraz blokowaniem się otworów sita^{10, 11)}. Blokowanie się otworów sitowych występuje we wszystkich rodzajach przesiewaczy, jednak w przesiewaczach bębnowych stanowi ono istotny problem, gdyż raz zablokowane otwory nie mogą w łatwy sposób zostać odblokowane. Inna sytuacja występuje w przypadku przesiewaczy wibracyjnych¹²⁾, w których zupełnie inna jest też dynamika ruchu. Przesiewacze wibracyjne posiadają zwykle płaskie sita zamontowane w prostokątnym rzeszocie i wprawiane są w ruch drgający za pomocą wibratorów elektrycznych¹³⁾. Dzięki drganiom zablokowane otwory sitowe po pewnym czasie ulegają odblokowaniu, co powoduje, że ogólna liczba zablokowanych otworów sitowych jest o wiele mniejsza niż w przesiewaczach, w których drgania nie występują (np. w przesiewaczach bębnowych). Zastosowanie drgań w przesiewaczach bębnowych nie było dotychczas możliwe ze względu na brak skutecznego sposobu połączenia ruchu obrotowego sita bębnowego z jednoczesnym ruchem drgającym tego sita¹⁴⁾.

Przesiewacz bębnowo-wibracyjny (rys. 1) opracowany w Politechnice Łódzkiej łączy w sobie zalety przesiewaczy bębnowych i wibracyjnych. Jest on wyposażony w sito bębnowe o kształcie walca (1), które jest zamocowane do wału (2) za pomocą promieniowych



Dr inż. Bogdan DERBISZEWSKI w roku 1976 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, kierunek wentylacja i klimatyzacja. W 1983 r. obronił pracę doktorską. W 1988 r. odbył staż naukowo-badawczy w Technical University of Denmark w Kopenhadze u prof. P.O. Fangera, gdzie prowadził badania komfortu cieplnego pomieszczeń biurowych. Od 1988 r. posiada uprawnienia rzeczoznawcy PZITS. Od 2003 r. jest zatrudniony w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu (obecnie Akademia Kaliska) na stanowisku adiunkta. Specjalność – wentylacja i ogrzewnictwo, sieci i instalacje sanitarne.



Dr inż. Remigiusz MODRZEWSKI w roku 1994 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. W 2000 r. uzyskał stopień doktora. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Inżynierii Chemicznej Politechniki Łódzkiej. Specjalność – modelowanie procesu przesiewania materiałów ziarnistych oraz projektowanie i budowa przesiewaczy przemysłowych.

* Autor do korespondencji:

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź, tel.: (42) 631-37-97, e-mail: remigiusz.modrzewski@p.lodz.pl

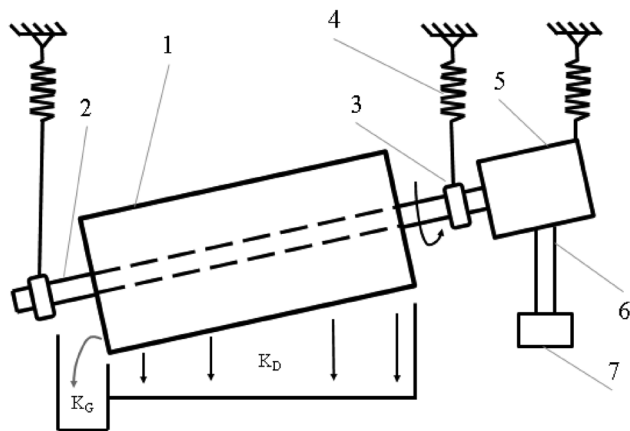


Fig. 1. Vibrating drum screen; explanations: 1 – drum screen, 2 – shaft, 3 – bearings, 4 – spring suspension, 5 – electric motor, 6 – stiff junction, 7 – electric vibrator

Rys. 1. Przesiewacz bębnowo-wibracyjny; oznaczenia: 1 – sito bębnowe, 2 – wał, 3 – łożyska, 4 – zawieszenie sprężyste, 5 – silnik elektryczny, 6 – sztywne łącze, 7 – wibrator elektryczny

prętów u podstaw tego walca z obu jego stron. Oś wału jest pochylona w stosunku do poziomu pod pewnym kątem. Materiał kierowany do przesiewania zwany jest nadawą i składa się z dwóch klas ziarnowych: klasy górnej K_G i klasy dolnej K_D . Klasę dolną stanowią ziarna mniejsze od wymiaru otworu sitowego, zaś klasę górną ziarna o wymiarach większych od otworów sita. Materiał ziarnisty do przesiewania jest podawany do wnętrza sita bębnowego od strony wyżej położonej. Materiał ten przemieszcza się wewnątrz obracającego się sita, jednocześnie przesiewając się przez nie. Wał jest zamocowany w dwóch łożyskach (3), które są podwieszone lub podparte na zawieszaniu sprężystym (4). Na jednym z końców wału (dowolnym) zamocowany jest silnik elektryczny (5), podwieszony lub podparty na zawieszaniu sprężystym. Do obudowy tego silnika zamocowane jest od dołu pionowe, sztywne, niesprężyste łącze (6), na końcu którego zamocowany jest wibrator elektryczny (7). Silnik elektryczny na końcu wału wymusza ruch obrotowy sita bębnowego, a jednocześnie wibrator elektryczny wymusza ruch drgający całej konstrukcji. Istotą rozwiązania jest to, że ciężar własny wibratora zawieszony pod silnikiem elektrycznym stanowi przeciwwagę dla momentu obrotowego tego silnika elektrycznego, który nie ma stałego punktu podparcia i gdyby nie taka przeciwwaga obracałby się wraz z wałem. Środek ciężkości wibratora jest oddalony od osi obrotu wału o odległość równą długości sztywnego łącza. Łącze to wraz z wibratorem w stanie spoczynku wisi pionowo pod silnikiem elektrycznym. Po włączeniu silnika elektrycznego to sztywne łącze z wibratorem na końcu odchyła się samoczynnie od pionu o kąt potrzebny do zrównoważenia momentu obrotowego silnika elektrycznego, który to moment obrotowy wymusza ruch obrotowy sita bębnowego. W wyniku przesiewania otrzymuje się dwa produkty odbierane do oddzielnych zbiorników. Analogiczne rozwiązanie napędu może być zastosowane również w granulatorze bębnowym.

Przesiewacze stożkowe rotacyjne

Obecnie stosuje się różne konstrukcje przesiewaczy rotacyjnych¹⁵⁾. Znane są przesiewacze wyposażone w sita obrotowe o pionowej osi obrotu, mające kształt płaskich talerzy lub ściętych stożków, w których ruch materiału ziarnistego na sicie jest wymuszany działaniem siły odśrodkowej. W takich konstrukcjach materiał kierowany do przesiewania jest podawany na środek obracającego się sita i wskutek działania siły odśrodkowej przemieszcza się w kierunku zewnętrznego obrzeża sita, ulegając jednocześnie przesiewaniu przez to sito. Wadą znanych przesiewaczy rotacyjnych jest mała skuteczność rozdzielania materiału spowodowana krótkim czasem przebywania ziaren tego materiału na sicie. Ponadto w miarę oddalania się materiału od osi obrotu rośnie siła odśrodkowa działająca na materiał ziarnisty, co powoduje coraz szybszy ruch ziaren w kierunku odśrodkowym i słaby kontakt warstwy ziarnistej z sitem, a to utrudnia przesiewanie.

Wielostożkowy przesiewacz kaskadowy opracowany w Politechnice Łódzkiej jest wyposażony w dwa lub więcej współosiowych stożków sitowych, na których materiał ziarnisty przesiewa się kolejno, poczynając od najbardziej wewnętrznego stożka i przesypany kaskadowo na kolejne stożki sitowe o rosnącej średnicy. Takie rozwiązanie konstrukcyjne znacznie wydłuża drogę i czas przebywania warstwy materiału ziarnistego na sicie. Ponadto kolejne stożki sitowe przesiewacza mają różne kąty pochylenia linii tworzącej stożka do poziomu. Każdy kolejny stożek sitowy ma coraz większy kąt pochylenia do poziomu, co ma na celu uwzględnienie rosnącej siły odśrodkowej w miarę oddalania się od osi obrotu. Większy kąt pochylenia powoduje zmniejszenie składowej siły odśrodkowej stycznej do powierzchni sita i spowalnia prędkość ruchu materiału na kolejnych sitach, co umożliwia skuteczne przesianie się materiału.

Na rys. 2 przedstawiono przesiewacz wielostożkowy w przekroju, z zaznaczonymi kierunkami przesuwania się materiału ziarnistego.

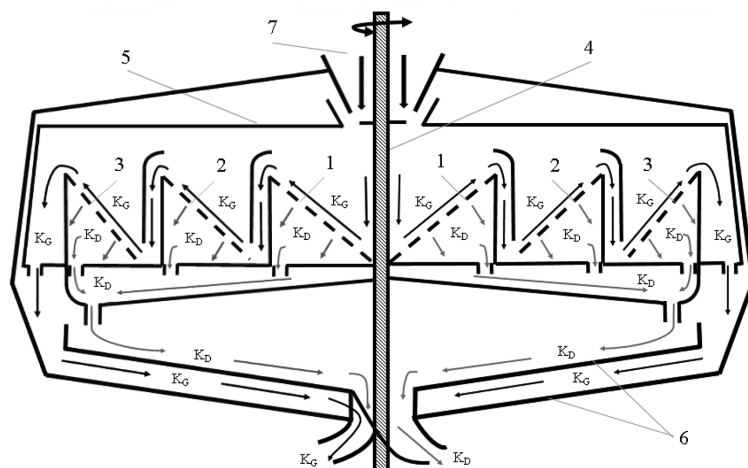


Fig. 2. Multi-cone cascade screen; explanations: 1, 2, 3 – screen surfaces, 4 – vertical shaft, 5 – mobile casing, 6 – immobile casing, 7 – delivery channel

Rys. 2. Wielostożkowy przesiewacz kaskadowy; oznaczenia: 1, 2, 3 – powierzchnie sitowe, 4 – pionowy wał, 5 – obudowa ruchoma, 6 – obudowa nieruchoma, 7 – kanał nadawy



Dr hab. inż. Andrzej OBRANIAK, prof. PŁ, w roku 1989 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej. W 2002 r. uzyskał stopień doktora na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska tej samej uczelni. W roku 2020 uzyskał stopień doktora habilitowanego na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, na którym pracuje jako adiunkt w Katedrze Aparatury Procesowej. Specjalność – inżynieria chemiczna i procesowa, mechanika.



Dr hab. inż. Jacek STELMACH w roku 1986 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. W 2000 r. uzyskał stopień doktora, a w 2016 r. uzyskał stopień doktora habilitowanego na tym samym wydziale. Specjalność – procesy napowietrzania z wykorzystaniem mieszadeł samozasysających oraz wybrane zagadnienia z bioinżynierii.

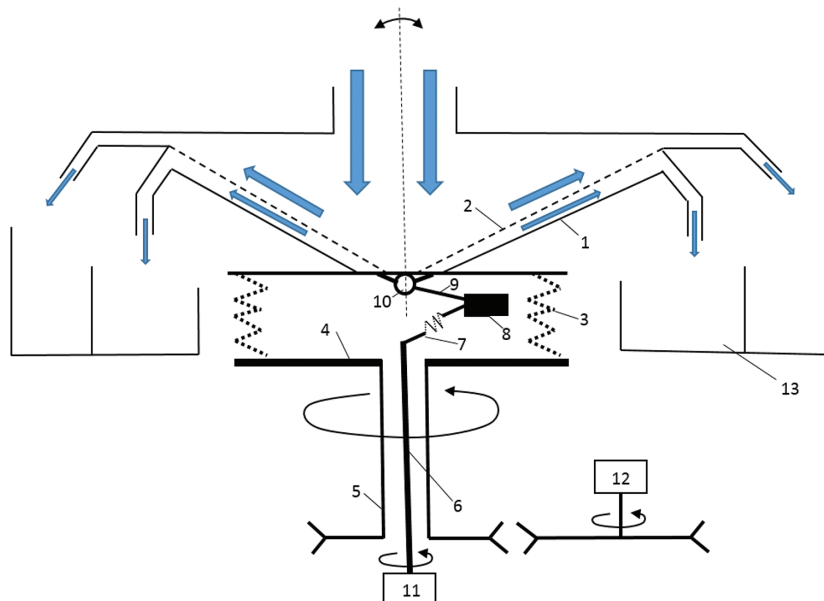


Fig. 3. Rotary vibrating centrifugal screen, dual-frequency; explanations: 1 – casing, 2 – screen cone, 3 – spring suspension, 4 – base, 5 – hollow shaft, 6 – shaft, 7 – arm, 8 – load, 9 – stiff arm, 10 – articulate joint, 11 – motor speed governor, 12 – motor, 13 – containers

Rys. 3. Odśrodkowy przesiewacz stożkowy obrotowo-wibracyjny, dwuczęstotściowy; oznaczenia: 1 – obudowa, 2 – stożek sitowy, 3 – zawieszenie sprężyste, 4 – podstawa, 5 – wał wydrążony, 6 – wał, 7 – ramię, 8 – obciążenie, 9 – sztywne ramię, 10 – przegub obrotowy, 11 – regulator obrotów silnika, 12 – silnik, 13 – pojemniki

Przesiewacz ten jest wyposażony w zestaw trzech stożkowych sit, ale może ich być również więcej. Powierzchnie sitowe oznaczono kolejno (1), (2) i (3). W wyniku operacji przesiewania otrzymuje się dwa produkty procesu: górny (nadsitowy) K_G i dolny (podsitowy) K_D . Sita o kształcie stożkowym obracają się wspólnie na pionowym wale (4). Wał jest osadzony na łożyskach i napędzany silnikiem elektrycznym. Elementami aparatu są też: obudowa ruchoma (obrotowa) (5) z zamocowaną konstrukcją sit stożkowych oraz obudowa nieruchoma (6) stanowiąca odrębną część przesiewacza. Nadawa dozwolona jest do przesiewania osiowo od góry kanałem (7). Ziarna materiału na skutek działania siły odśrodkowej przemieszczają się kolejno po powierzchni sit stożkowych, poczynając od sita (1) i przesypując się kaskadowo na powierzchnię sita (2) i kolejno na sito (3). W trakcie procesu przesiewania zachodzi segregacja warstwy materiału oraz przechodzenie ziaren przez otwory sitowe na każdym sicie stożkowym. Produkty procesu przesiewania odbierane są zbiorczo w oddzielnych misach na produkty K_D i K_G .

Wadą przesiewaczy rotacyjnych powodującą ich małą skuteczność jest też zbyt równomierny rozkład sił działających na warstwę ziarnistą na sicie, co nie sprzyja intensywnemu mieszaniu się ziaren, a jest to niezbędne dla prawidłowego przebiegu procesu przesiewania. Oś obrotu stożka sita jest w tych przesiewaczach stała, a ruch warstwy ziarnistej statyczny i równomierny. Wadę tę eliminuje odśrodkowy przesiewacz stożkowy obrotowo-wibracyjny dwuczęstotściowy

(rys. 3). Jest on wyposażony w stożek sitowy (2) znajdujący się wewnątrz obudowy, która jest zamontowana na podstawie (4) za pomocą zawieszenia sprężystego (3). Podstawa jest napędzana silnikiem elektrycznym poprzez wał wydrążony (5) i wykonuje wraz z sitem i obudową ruch obrotowy. Wewnątrz wału (5) znajduje się wał (6), który poprzez ramię (7) jest połączony z masą (8) znajdującą się poza osią obrotów tego wału. Stanowi więc masę niewyważoną, która w czasie obrotów wywołuje drgania. Ramię to posiada element sprężysty, dzięki któremu drgania pojawiające się w czasie obrotów masy niewyważonej (8) nie są przenoszone na wał (6). Masa ta jest połączona sztywnym ramieniem (9) i przegubem obrotowym (10) z obudową (1), dzięki czemu drgania są przenoszone na obudowę i sito przesiewacza. Stożek sitowy wykonuje zatem jednocześnie ruch obrotowy i drgający. Jest to możliwe dzięki temu, że obudowa jest zamontowana na zawieszeniu sprężystym. Przegub obrotowy (10) jest umieszczony w osi obrotów wału (6), co umożliwia ruch obrotowy masy niewyważonej wokół osi tego wału. Wielkość siły wymuszającej można regulować poprzez regulację częstości obrotów silnika (11) napędzającego wewnętrzny wał (6). Częstość ta i częstość obrotów silnika napędzającego (12) mogą być różne, co osiąga się poprzez przekładnię pasową i wydrążony wał (5) oraz podstawę obrotową (4). Mówi się zatem o przesiewaczu dwuczęstotściowym, którego częstości obrotów i drgań nie są jednakowe. Odchylenie się stożka

sitowego w ruchu drgającym jest korzystne dla procesu przesiewania, ponieważ powoduje dodatkowy spiralny ruch materiału po sicie, czyli przesypanie się materiału w kierunku obwodowym sita, a nie tylko w kierunku promieniowym, ponadto występowanie drgań sita powoduje rozluźnianie znajdującego się na nim materiału ziarnistego i ułatwia przesiewanie. Materiał ziarnisty jest podawany od góry, szerokim otworem, na środek stożka sitowego, skąd pod działaniem siły odśrodkowej przemieszcza się wzdłuż sita w kierunku jego obrzeża, jednocześnie przesiewając się przez sito. Produkty (nadsitowy i podsitowy) są wyrzucane pod działaniem siły odśrodkowej do oddzielnych pojemników (13). Pojemniki te mają kształt pierścieniowych rynien wokół przesiewacza.

Wibratory bezwładnościowe

Obrotowe wibratory bezwładnościowe, powszechnie stosowane do napędu wibracyjnego przesiewaczy, mają na wale silnika elektrycznego zamontowaną masę, której środek ciężkości znajduje się poza osią obrotów tego wału. W trakcie obrotów wału z niewyważoną masą powstaje siła odśrodkowa wymuszająca drgania. Wielkość masy niewyważonej, a tym samym wartość siły wymuszającej wibratora i wielkość amplitudy drgań, można zmieniać jedynie poprzez zdejmowanie lub nakładanie elementów masy niewyważonej na wał albo poprzez zmianę położenia poszczególnych części masy

Mgr inż. Piotr PIERSA jest doktorantem w dziedzinie inżynierii środowiska w kierunku „Inżynieria chemiczna w ochronie środowiska” na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Równocześnie jest prezesem APS-Ekoinnowacje Sp. z o.o. działającej na styku nauki i biznesu, która komercjalizuje i urynkawia nowatorskie technologie i produkty. Specjalność – energetyka odnawialna, efektywność energetyczna procesów wytwórczych oraz zagospodarowanie i przetwarzanie odpadów biomasy, w szczególności w zakresie aglomeracji produktów powstających w procesie toryfikacji biomasy parą przegrzaną.



Dr inż. Łukasz ADRIAN w roku 2008 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej, specjalność maszyny spożywcze, chłodnictwo i klimatyzacja. W 2017 r. obronił pracę doktorską na Politechnice Łódzkiej na kierunku budowa i eksploatacja maszyn. Obecnie jest specjalistą na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej oraz przedsiębiorcą i w ramach wykonywanej przez siebie pracy zawodowej i naukowej realizuje szereg projektów współfinansowanych z UE, w tym wiele projektów wdrożeniowych w polskich i zagranicznych przedsiębiorstwach. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn.



niewyważonej na wale. Czynności te można wykonać tylko po zatrzymaniu wibratora i zdjęciu jego obudowy. Tymczasem w technice wibracyjnej często występuje konieczność regulacji siły wymuszającej drgania w czasie pracy wibratora. Korzystne jest np. czasowe zmniejszenie siły wymuszającej wibratora w przypadku wpadania urządzenia napędzanego tym wibratorem w rezonans, czyli wówczas kiedy częstość siły wymuszającej wibratora jest równa częstości drgań własnych danego urządzenia. Synchronizacja częstości drgań wibratora z częstością drgań własnych układu może bowiem spowodować gwałtowny i niekontrolowany wzrost amplitudy drgań, co może prowadzić do uszkodzeń lub zniszczenia danego urządzenia. Przechodzenie przez zakres drgań własnych obserwuje się często w momentach rozruchu lub zatrzymywania urządzeń wibracyjnych, takich jak m.in. przesiewacze, granulatory i podajniki. Regulacja siły wymuszającej poprzez jej zmniejszenie przed zatrzymaniem wibratora może stanowić rozwiązanie tych problemów. Ponadto w niektórych zastosowaniach, np. w napędach przesiewaczy, płynne zwiększenie siły wymuszającej w czasie pracy maszyny może dać dobry efekt procesowy w przypadku nagłego pojawienia się na sicie materiału bardziej wilgotnego lub zanieczyszczonego. Większa amplituda drgań zapobiega wówczas blokowaniu się otworów sita. Należy zatem reagować na zmieniające się warunki bez zatrzymywania urządzenia. Niestety, produkowane obecnie wibratory dają taką możliwość jedynie poprzez regulację elektryczną, np. modyfikację prądu zasilającego za pomocą falownika. Wymaga to jednak stosowania dodatkowych urządzeń. W opisywanym wynalazku regulacja siły wymuszającej jest mechaniczna, odbywa się bez zatrzymania urządzenia (w trakcie pracy) i nie wymaga stosowania falowników.

Wibrator bezwładnościowy o sile wymuszającej regulowanej mechanicznie w trakcie pracy (rys. 4) jest wyposażony w masę niewyważoną (1) znajdującą się na końcu podwójnej dźwigni (2), która jest połączona przegubowo (3) jednym końcem z wałem silnika elektrycznego (4), a drugim końcem jest połączona przegubowo (5) z krótkim odcinkiem wału (6), którego oś pokrywa się z osią wału silnika elektrycznego (8). Ten krótki odcinek wału jest zamocowany w łożysku, którego obudowa (7) może być przesuwana po nieruchomej podstawie (9) w kierunku osiowego obrotu wałów. Przesuwanie to powoduje zmianę kąta wewnętrznego (β) między ramionami podwójnej dźwigni (2) i tym samym zmianę odległości masy niewyważonej (1) od osi obrotów. Przesuwanie to może odbywać się w czasie obrotów wału, a więc w czasie pracy wibratora, bowiem obudowa łożyska (7) nie wykonuje ruchu obrotowego. Obraca się tylko łożysko (jego wewnętrzna część) i krótki odcinek wału (6) zamocowany w tym łożysku. Mechanizm przesuwania obudowy łożyska (7) po podstawie (9) może być dowolny, np. za pomocą śruby (12) lub przekładni ślimakowej obracanej elektrycznie lub ręcznie. Całe urządzenie znajduje się w jednej obudowie (11). Przesunięcie obudowy łożyska (7) w prawo (rys. 4) powoduje zmniejszenie się kąta β pomiędzy obydwoma

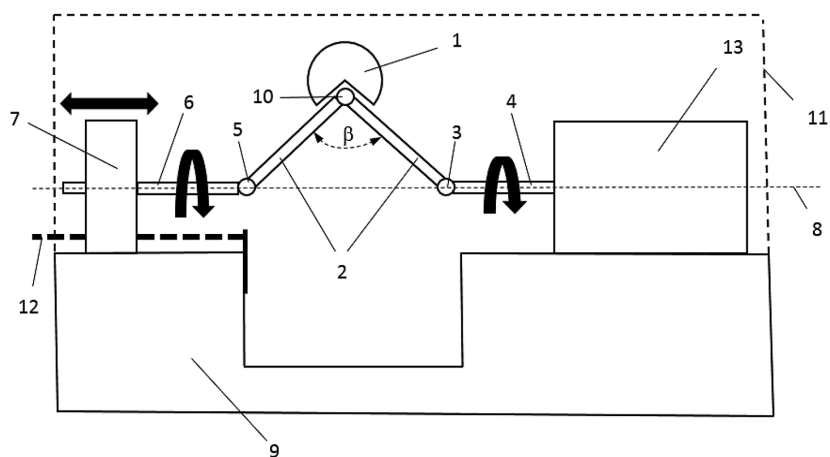


Fig. 4. Inertial vibrator with mechanically regulated exciting force; explanations: 1 – load, 2 – double lever, 3, 5, 10 – joints, 4, 6, 8 – motor shaft, 7 – bearing casing, 9 – base, 11 – housing, 12 – screw

Rys. 4. Wibrator bezwładnościowy o sile wymuszającej regulowanej mechanicznie; oznaczenia: 1 – masa niewyważona, 2 – podwójna dźwignia, 3, 5, 10 – przeguby, 4, 6, 8 – wał silnika elektrycznego, 7 – obudowa łożyska, 9 – podstawa, 11 – obudowa, 12 – śruba

ramionami podwójnej dźwigni (2) i tym samym odsunięcie masy niewyważonej (1) od osi obrotów (8) na większą odległość. Większa odległość masy niewyważonej od osi obrotów oznacza zaś większą siłę odśrodkową. Oczywiście działanie przeciwne, czyli przesunięcie obudowy łożyska (7) w lewo (rys. 4) spowoduje przybliżenie masy niewyważonej do osi obrotów i tym samym zmniejszenie siły wymuszającej. Można zatem w sposób płynny regulować wartość tej siły w czasie pracy wibratora.

Granulator talerzowo-wibracyjny

Znane są granulatory talerzowe^{16, 17}, których praca polega na obrocie talerza dookoła własnej osi, pochylonej pod kątem 40–60°. Talerz zamocowany jest na tarczy sztywno osadzonej na obracającym się wale napędowym. W wyniku obrotu talerza pod wpływem sił tarcia, bezwładności oraz ciężkości umieszczony w nim materiał ziarnisty cyrkuluje i w wyniku dodania cieczy nawilżającej ulega granulacji. Znana jest również metoda granulacji wibracyjnej, w której złoże zostaje wprowadzone w ruch potrzebny do jego granulacji za pomocą nachylonej wibrującej rynny. Oba te rozwiązania mają wady. Granulator talerzowy oblepia się wewnątrz przez wilgotne złoże, a w granulatorze wibracyjnym nie można realizować procesów o dużej wydajności. Rozwiązaniem problemu może być urządzenie, którego konstrukcja łączy dwie opisane metody.

Wibracyjny granulator talerzowy stanowi swoiste połączenie tradycyjnej metody granulacji talerzowej z granulacją wibracyjną. W urządzeniu tym objawiają się zalety obu metod. Wibracje talerza ograniczają np. niekorzystny proces przyklejania się cząstek granulowanego materiału do powierzchni talerza, a ponadto ułatwiają wiązanie się cieczy podawanej przez dysze natryskowe z granulatem. Wibracyjny granulator talerzowy (rys. 5) jest wyposażony w talerz obrotowy (1) zamontowany na wydrążonym wale (2), który został wyposażony w element sprężysty (3). Element sprężysty umożliwia ruch posuwisto-zwrotny talerza i górnej części wału, na której talerz jest osadzony. Wewnątrz tego wału znajduje się sztywny pręt (4) wykonujący drgania w kierunku osiowym. Prostoliniowe, osiowe drgania pręta są wymuszane elektrowibratorem (10). Drgania te są przenoszone na talerz granulatora za pośrednictwem popychacza (5) znajdującego się w osi obrotów talerza (1) wewnątrz wału wydrążonego (2). Popychacz może być połączony z talerzem za pomocą łożyska obrotowego (talerz wykonuje ruch obrotowy, popychacz nie obraca się) lub swobodnie ślizgać się po powierzchni talerza. Pręt popychacza (4) jest zamontowany w łożysku ślizgowym (6) umożliwiającym ruch posuwisto-zwrotny w kierunku osiowym tego



Mgr inż. Dariusz KRYSZAK w roku 2009 ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechnice Poznańskiej, specjalizacja konstrukcja i automatyzacja maszyn. Współpracę z firmą Mysak Group rozpoczął w 2008 r. jako asystent kierownika projektu. Po ukończeniu studiów otrzymał propozycję pracy jako kierownik projektu, a następnie od 2011 r. do dzisiaj pracuje jako manager sprzedaży. Od października 2017 r. dodatkowo rozpoczął studia doktoranckie na Politechnice Łódzkiej. Specjalność – przygotowywanie innowacyjnych rozwiązań linii technologicznych dla zakładów przemysłu spożywczego oraz chemicznego.

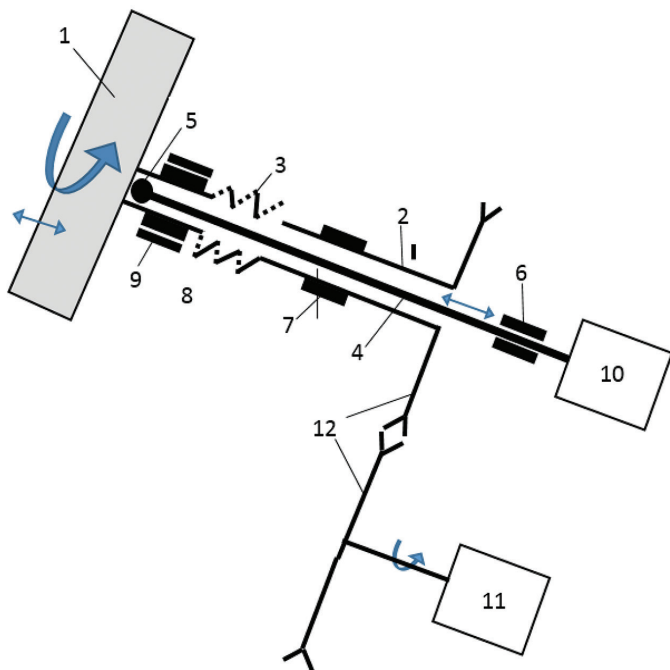


Fig. 5. Vibrating disc granulator; explanations: 1 – turn disc, 2 – hollow shaft, 3 – elastic element, 4 – stiff rod, 5 – follower, 6, 9 – sliding bearings, 7, 8 – rolling bearings, 10 – electric vibrator, 11 – electric motor, 12 – belt transmission

Rys. 5. Wibracyjny granulator talerzowy; oznaczenia: 1 – talerz obrotowy, 2 – wał wydrążony, 3 – element sprężysty, 4 – sztywny pręt, 5 – popychacz, 6, 9 – łożyska ślizgowe, 7, 8 – łożyska toczne, 10 – elektrowibrator, 11 – silnik elektryczny, 12 – przekładnia pasowa

pręta. Dolna część wału wydrążonego (2) jest zamocowana na łożysku obrotowym (7), ponieważ wykonuje wyłącznie ruch obrotowy dostarczany od silnika elektrycznego (11) poprzez przekładnię pasową (12) lub zębatą. Górna część wału (2) jest zamontowana w łożysku obrotowym (8), którego obudowa znajduje się wewnątrz drugiego łożyska, którym jest łożysko ślizgowe (9). Takie zamontowanie umożliwia jednoczesny ruch obrotowy (łożysko wewnętrzne) i posuwisto-zwrotny (łożysko zewnętrzne) górnej części wału oraz talerza granulatora.

Podsumowanie

Opisywane przesiewacze powinny być przeznaczone głównie do przesiewania materiałów drobno uziarnionych i trudno odsiewających się, ponieważ maszyny te dają intensywne rozluźnienie warstwy materiału na sicie. Przykładem takich materiałów mogą być produkty procesu toryfikacji¹⁸⁾ materiałów organicznych lub odpady z przemysłu skórzanego¹⁹⁾. Ze względu na właściwości fizyczne tych materiałów dochodzi do zatykania się otworów sitowych i zatrzymania procesu^{20, 21)}. O takim zastosowaniu decyduje przede wszystkim dynamiczny charakter ruchu tych przesiewaczy, co w przypadku materiałów nie poddających się łatwo klasyfikacji ma ogromne znaczenie. To właśnie duża dynamika ruchu ułatwia odblokowywanie się zatkanych otworów sitowych.

W technice granulacji szerokie zastosowanie może znaleźć wibracyjny granulator talerzowy, pozwala on bowiem na aglomerację materiałów, takich jak strużyny skór garbarskich, które trudno łączą się z cieczą nawilżającą^{22, 23)} i z dodatkami mineralnymi²⁴⁾. Dodatki mineralne mogą być produktami odpadowymi np. z przemysłu energetycznego²⁵⁾ (sulfopigips). Granulaty takie stanowią zaś cenny surowiec do produkcji kompozytów^{26, 27)} (np. podeszwy butów) lub tworzyw izo-

lacyjnych^{28, 29)}. Innym zastosowaniem może być otoczkowanie ziaren siewnych^{30, 31)} materiałami mineralnymi i produkcja nawozów, a także wspomaganie procesów zagęszczania^{32–34)} odpadów spożywczych.

Otrzymano: 24-02-2021

LITERATURA

- [1] R. Siuda, J. Kwiatek, S. Szufa, A. Obraniak, P. Piersa, Ł. Adrian, R. Modrzewski, K. Ławińska, K. Siczek, T.P. Olejnik, *Minerals* 2021, **11**, 119.
- [2] S. Szufa, P. Piersa, Ł. Adrian, J. Sielski, M. Grzesik, Z. Romanowska-Duda, K. Piotrowski, W. Lewandowska, *Molecules* 2020, **25**, 3862.
- [3] Ł. Adrian, P. Piersa, S. Szufa, Z. Romanowska-Duda, M. Grzesik, A. Cebula, S. Kowalczyk, J. Ratajczyk-Szufa, [w:] *Renewable energy sources. Engineering, technology, innovation* (red. K. Mudryk, S. Werle), Springer, Cham 2018, 413.
- [4] K. Ławińska, S. Szufa, R. Modrzewski, A. Obraniak, T. Wężyk, A. Rostocki, T.P. Olejnik, *Molecules* 2020, **25**, 5419.
- [5] K. Ławińska, A. Obraniak, R. Modrzewski, *Fibres Textiles Eastern Europe* 2019, **27**, 107.
- [6] K. Ławińska, R. Modrzewski, A. Obraniak, *Fibres Textiles Eastern Europe* 2020, **28**, 119.
- [7] D. Kryszak, A. Bartoszewicz, S. Szufa, P. Piersa, A. Obraniak, T.P. Olejnik, *Processes* 2020, **8**, 1489.
- [8] T. Gluba, T.P. Olejnik, A. Obraniak, *Przem. Chem.* 2015, **94**, nr 8, 1370.
- [9] A. Heim, A. Obraniak, T. Gluba, *Przem. Chem.* 2008, **87**, nr 2, 154.
- [10] K. Ławińska, P. Wodziński, R. Modrzewski, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2015, **51**, 15.
- [11] K. Ławińska, R. Modrzewski, W. Serweta, *Gosp. Surowcami Mineral.* 2018, **34**, 83.
- [12] R. Modrzewski, P. Wodziński, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2010, **44**, 169.
- [13] R. Modrzewski, P. Wodziński, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2011, **46**, 5.
- [14] K. Ławińska, R. Modrzewski, P. Wodziński, *Roczn. Ochr. Środ.* 2015, **17**, 1365.
- [15] R. Modrzewski, P. Wodziński, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2011, **47**, 267.
- [16] K. Ławińska, S. Szufa, A. Obraniak, T. Olejnik, R. Siuda, J. Kwiatek, D. Ogrodowczyk, *Energies* 2020, **13**, 3419.
- [17] J. Kwiatek, R. Siuda, T. Gluba, T.P. Olejnik, A. Obraniak, A. Marszałek-Gubiec, T. Pietrasik, *Przem. Chem.* 2018, **97**, nr 9, 1542.
- [18] S. Szufa, *Przem. Chem.* 2020, **99**, nr 12, 1797.
- [19] K. Ławińska, D. Gendaszewska, E. Grzesiak, J. Jagiełło, A. Obraniak, *Przem. Chem.* 2017, **96**, nr 11, 2344.
- [20] K. Ławińska, R. Modrzewski, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2017, **53**, 812.
- [21] K. Ławińska, R. Modrzewski, P. Wodziński, *Granular Matter* 2016, **18**, 13.
- [22] A. Obraniak, M. Orczykowska, T.P. Olejnik, *Powder Technol.* 2019, **342**, 328.
- [23] J. Stelmach, C. Kunczewicz, S. Szufa, T. Jirout, F. Rieger, *Processes* 2021, **9**, 68.
- [24] T.P. Olejnik, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2013, **49**, 407.
- [25] T.P. Olejnik, E. Sobiecka, *Probl. Ekorozw.* 2017, **12**, 173.
- [26] K. Ławińska, W. Serweta, R. Modrzewski, *Fibres Textiles Eastern Europe* 2018, **26**, 81.
- [27] K. Ławińska, R. Modrzewski, W. Serweta, *Fibres Textiles Eastern Europe* 2019, **27**, 89.
- [28] K. Ławińska, W. Serweta, R. Modrzewski, *Przem. Chem.* 2019, **98**, nr 1, 106.
- [29] M. Dzikuć, A. Piwowar, S. Szufa, J. Adamczyk, M. Dzikuć, *Energies* 2021, **14**, 191.
- [30] K. Ławińska, D. Gendaszewska, E. Grzesiak, M. Lasoń-Rydel, A. Obraniak, *Przem. Chem.* 2017, **96**, nr 9, 1877.
- [31] K. Ławińska, M. Lasoń-Rydel, D. Gendaszewska, E. Grzesiak, K. Siczek, C. Gaidau, D.G. Epure, A. Obraniak, *Fibres Textiles Eastern Europe* 2019, **27**, 59.
- [32] S. Obidziński, M. Dołyńska, M. Kowczyk-Sadowy, K. Jadwisieńczyk, P. Sobczak, *Energies* 2019, **12**, 4687.
- [33] M. Kowczyk-Sadowy, J. Piekut, S. Obidziński, *Przem. Chem.* 2018, **97**, nr 5, 737.
- [34] S. Obidziński, M. Dołyńska, *Przem. Chem.* 2017, **96**, nr 11, 1000.