

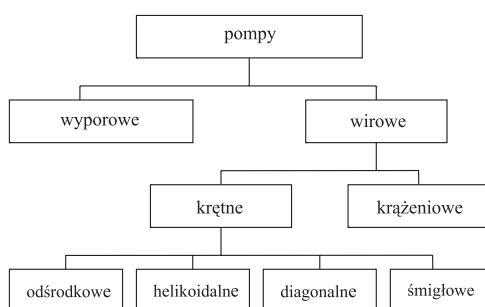


Pompy

w zakładach produkcji kruszyw

Pompy należą do podstawowych maszyn roboczych pracujących w zakładach eksploatacji i przeróbki kruszyw. Znajdują zastosowanie w procesach odwadniania kopalń, eksploatacji kruszyw spod lustra wody, płukania i hydrotransportu kruszyw oraz wielu innych operacjach technologicznych.

Wśród różnych rodzajów pomp najliczniejszą grupę stanowią pompy wirowe. Charakteryzują się zdolnością do samoczynnego przystosowania do zmiennych warunków pracy i nadają się do podnoszenia cieczy o różnych właściwościach. Dzięki małym rozmiarom i niskim kosztom eksploatacji znajdują rozległe zastosowanie w technice. Uproszczony podział pomp przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Podział pomp

W pompach wirowych osiowy przepływ cieczy w rurze ssawnej zamienia się stopniowo w ruch okrężny w obrębie wirnika. Zmianie tej towarzyszy zmiana krętu, czyli momentu ilości ruchu, stąd nazwa „pompy krętne” (złożony ruch okrężny występujący w pompach wirowych ma swój odpowiednik w przyrodzie, np. w trąbach powietrznych).

Pompy odśrodkowe do cieczy czystych i zanieczyszczonych należą do najbardziej rozpowszechnionych pomp wirowych. Ze względu na obszerny zakres wydajności

i wysokości podnoszenia oraz warunków zainstalowania pompy wirowe odśrodkowe przybrały w swoim rozwoju bardzo różnorodne formy konstrukcyjne. Najbardziej rozpowszechniony typ to pompy odśrodkowe jednostopniowe o osi poziomej. Pompy tego typu budowane są o wydajności od 3 do 3 500 m³/godz. i wysokości podnoszenia do 120 m. Wyższe wysokości podnoszenia osiąga się w pompach z kierownicą łopatkową usytuowaną przed wejściem do spiralnego kanału tłocznego.

Do najbardziej znanych zaliczyć można również pompy odśrodkowe wielostopniowe o osi poziomej i pompy odśrodkowe jedno- i wielostopniowe o osi pionowej. Jeżeli wysokość podnoszenia wytworzona przez jeden wirnik nie jest wystarczająca, wówczas stosowane są pompy wielostopniowe, w których wysokości podnoszenia szeregowo połączonych wirników sumują się. Na ogół liczba stopni mieści się w zakresie od 1 do 6. W wielu przypadkach bardziej celowe jest zainstalowanie pompy o osi pionowej. Pompy te zajmują mniejszą powierzchnię, a przy dużych wahańach poziomu wody w zbiorniku dolnym silnik może być umieszczony na wysokości zabezpieczającej go przed zatopieniem. Pompy te często są stosowane do przetłaczania ścieków przemysłowych.

W zakładach przerobczych do transportu wody płuczkowej, mułu czy kruszywa, najczęściej używane są pompy wirowe odśrodkowe. Zadanie, które ma wykonać pompa, jest określone dwoma wielkościami: żądaną wydajnością Q [m³/godz] oraz użyteczną wysokością podnoszenia H w

[m]. Obie charakterystyczne dla pompy wielkości H i Q są ze sobą wzajemnie związane zależnością funkcyjną $H = f(Q)$, typową dla pompy danej konstrukcji. Zależność ta, będąca charakterystyką pompy, podawana jest zwykle w postaci wykresu, tzw. krzywej dławienia.

Obliczenia układu pompowego (pompa + rurociąg) rozpoczyna się od przyjęcia optymalnej prędkości przepływu wody lub mieszaniny. Dobór optymalnej prędkości przepływu mieszaniny ciała stałego z wodą łączy się z wyznaczeniem tzw. krytycznej prędkości przepływu mieszaniny v_{kr} . Jest to minimalna średnia prędkość przepływu mieszaniny, przy której nie następuje jeszcze osadzanie się ziaren fazy stałej. Inaczej mówiąc – to prędkość wystarczająca do utrzymania mieszaniny cieczy i ciała stałego w stanie zawiesiny. Dla prędkości krytycznej opory ruchu mieszaniny są najmniejsze. Prędkość krytyczną można obliczyć z wzorów lub wyznaczyć ją na drodze doświadczalnej. Dla wody i drobno uziarnionych zawiesin prędkości przepływu wynoszą zazwyczaj 0,5-2 m/s. Przy zawiesinach o wyższej zawartości części stałych i ich uziarnieniu do kilku mm przyjmuje się prędkości przepływu $v = 1$ do ponad 2 m/s, przy czym prędkość przepływu mieszaniny v nie powinna być mniejsza jak $1,3 v_{kr}$. Prędkość krytyczna rośnie szybko wraz ze wzrostem wymiarów transportowanych ziaren ciała stałego.

W badaniach hydrotransportu kamienia wapiennego o granulacji 0-40 mm w rurociągu o średnicy wewnętrznej 185 mm uzyskano krytyczną prędkość przepływu wynoszącą 4,1 m/s.

Znając ilość pompowanej mieszaniny Q i prędkość jej przepływu v , wyznaczamy średnicę rurociągu D , dla którego obliczamy spadki naporu i wyznaczamy użyteczną wysokość podnoszenia pompy H .

Równanie ruchu strugi cieczy idealnej opisuje równanie Bernoulliego, ujmujące trzy podstawowe wysokości hydrauliczne, tj. wysokość prędkości, wysokość ciśnienia i wysokość niwelacyjną (czyli wymagany napór na zwiększenie prędkości przepływu, zwiększenie ciśnienia i zwiększenie wysokości niwelacyjnej). Upraszczając całe rozważania (np. przyjmując takie samo ciśnienie w zbiorniku dolnym i górnym), najczęściej w zakładzie przerobczym potrzebujemy wyznaczyć, jakie ciśnienie musi wytworzyć pompa, aby przetłoczyć ciecz na określoną wysokość. Użyteczną wysokość podnoszenia pompy H możemy obliczyć z wzoru 1:

$$H = \rho \left(\frac{v^2}{2g} + h + Z \right) \quad [m] \quad (1)$$

gdzie:

ρ – gęstość właściwa pompowanej cieczy lub mieszaniny [Mg/m³],

v – prędkość przepływu cieczy [m/s],

g – przyspieszenie ziemskie,

h – niwelacyjna wysokość podnoszenia [m],

Z – całkowity spadek naporu wywołany oporami przepływu ($Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$) [m],

Z_1 – straty naporu spowodowane tarcieniem na długości rurociągu,

Z_2 – straty naporu na krzywiznach,

Z_3 – straty naporu na zwężeniach przewodu,

Z_4 – straty naporu na elementach armatury.

Powyższe straty można obliczyć z wzorów lub określić na podstawie odpowiednich nomogramów. Podstawowym

wzorem do obliczenia strat naporu podczas przepływu przez rurociąg prosty jest wyrażenie:

$$Z_1 = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [m] \quad (2)$$

gdzie:

λ – współczynnik oporu,

L – długość przewodu [m],

D – średnica przewodu [m].

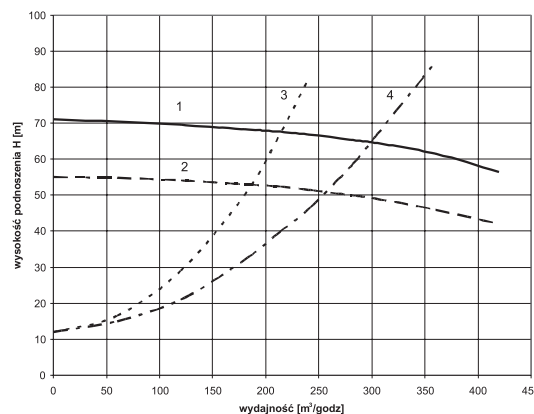
Pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1.

Dla danego rurociągu istnieje zależność pomiędzy wielkością spadku hydraulicznego H a ilością pompowanej cieczy Q , która może być wyliczona z powyższego wzoru. Zależność ta wyraża się w najogólniejszy sposób równaniem:

$$H = h + aQ^2 \quad (3)$$

gdzie a jest współczynnikiem proporcjonalności.

Równanie to w formie graficznej daje krzywą zwaną charakterystyką rurociągu. Jej znajomość jest pomocna w rozwiązywaniu szeregu zagadnień związanych z pompowaniem cieczy. Podstawowym jest oczywiście dobór pompy na podstawie znajomości jej charakterystyki i charakterystyki rurociągu. Na rysunku 2 przedstawiono charakterystyki pompy wirowej oraz rurociągu. Miejsce przecięcia się obu krzywych wyznacza nam punkt pracy układu pompowego. Chcąc dopasować charakterystykę pompy do danych warunków możemy ją zmieniać poprzez przemykanie zaworu regulacyjnego na tłoczeniu pompy (zmiana oporów przepływu) lub np. zmianę obrotów pompy. Uzyskuje się wówczas zmianę położenia charakterystyki pompy, a przez to zmianę położenia punktu pracy. Regulacja pompy przez dławienie jest nieekonomiczna. Korzystniej jest dobrać odpowiednie obroty stosując przekładnię pasową czy przetwornik częstotliwości prądu. Charakterystyka pompy zmienia się również ze zmianą średnicy wirnika D_w . Na rysunku 2 podano charakterystykę pomp (krzywe 1 i 2) różniących się pomiędzy sobą jedynie średnicą wirnika. Krzywe 3 i 4 przedstawiają charakterystyki rurociągów o średnicy $\varnothing 219$ mm, ale o różnych długościach L i o różnej chropowatości ścianek wewnętrznych (k).



Rys. 2. Punkt pracy układu pompowego.

1 – $H = f(Q)$ dla pompy PH 150, $n = 1450$ obr./min., $D_w = 440$ mm.

2 – $H = f(Q)$ dla pompy PH 150, $n = 1450$ obr./min., wirnik $D_w = 400$ mm.

3 – charakterystyka rurociągu $L = 1650$ m, $k = 0,4$ mm.

4 – rurociąg, $L = 1400$ m, $k = 0,05$ mm.

Pompa PH 150 tłoczyła szlam płuczkowy zawierający ziarna kamienia wapiennego o średnicy 0-2 mm. Gęstość pompowanej mieszaniny wynosiła 1,1 t/m³. Jak widać z rysunku, pompa z wirnikiem D_w 440 mm podawała szlam w

ilości ok. 295 m³/h. Pompa pracowała z napływem szlamu, a niwelacyjna wysokość pompowania wynosiła 12 m.

Przy doborze pompy ważne jest, aby punkt pracy układu pompowego znajdował się w pobliżu największej sprawności pompy. W dokumentacji techniczno-ruchowej zwykle podana jest charakterystyka sprawności pompy wirowej.

W hydrotransportie kruszyw (piasków, mułów) często wyznacza się jednostkowe straty naporu podczas przepływu mieszaniny w rurociągu. W literaturze fachowej można znaleźć nomogramy i wzory opisujące jednostkowe straty naporu podczas przepływu mieszaniny części stałych z wodą. Korzystanie z gotowych nomogramów znacznie upraszcza obliczenie strat naporu dla pomp. Dla określonego przepływu Q i przyjętej średnicy rury D (a tym samym dla określonej prędkości przepływu v) wyznaczone są wartości jednostkowego spadku ciśnienia i w m/m rurociągu. Znając długość rurociągu L obliczamy stratę naporu H na przepływu w rurociągu z wzoru $H = L i$ [m].

Wyniki obliczeń prowadzonych wg różnych wzorów mogą się znacznie różnić, dlatego korzystne jest niekiedy przeprowadzenie badań hydrotransportu określonej mieszaniny. Przykładowo – dla badań hydrotransportu kamienia wapiennego o granulacji 0-40 mm [4] uzyskano empiryczny wzór na jednostkowe straty naporu w postaci:

$$\Delta h_m = \Delta h_w \left(1 + 3,75 \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w} \right) \quad [m] \quad (4)$$

gdzie:

Δh_m – jednostkowe straty naporu podczas przepływu mieszaniny w rurociągu (m/m),

Δh_w – jednostkowe straty naporu podczas przepływu wody w rurociągu (m/m),

ρ_m – gęstość mieszaniny [Mg/m³],

ρ_w – gęstość wody [Mg/m³].

Zależność jednostkowych strat naporu mieszaniny Δh_m (w metrach słupa wody na 100 metrów rurociągu) od prędkości przepływu mieszaniny, dla różnych gęstości, przedstawiono na rys. 3. Jak widać z rysunku

opory przepływu, a tym samym strata naporu, wzrastają proporcjonalnie do kwadratu prędkości przepływu mieszaniny.

W ilościowym i jakościowym opisie zjawiska przepływu cieczy ważna jest teoria podobieństwa dynamicznego pomp wirowych. Między podstawowymi wielkościami fizycznymi charakteryzującymi dwa podobne przepływy przez jeden i ten sam wirnik zachodzą następujące proste zależności:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2; \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (5)$$

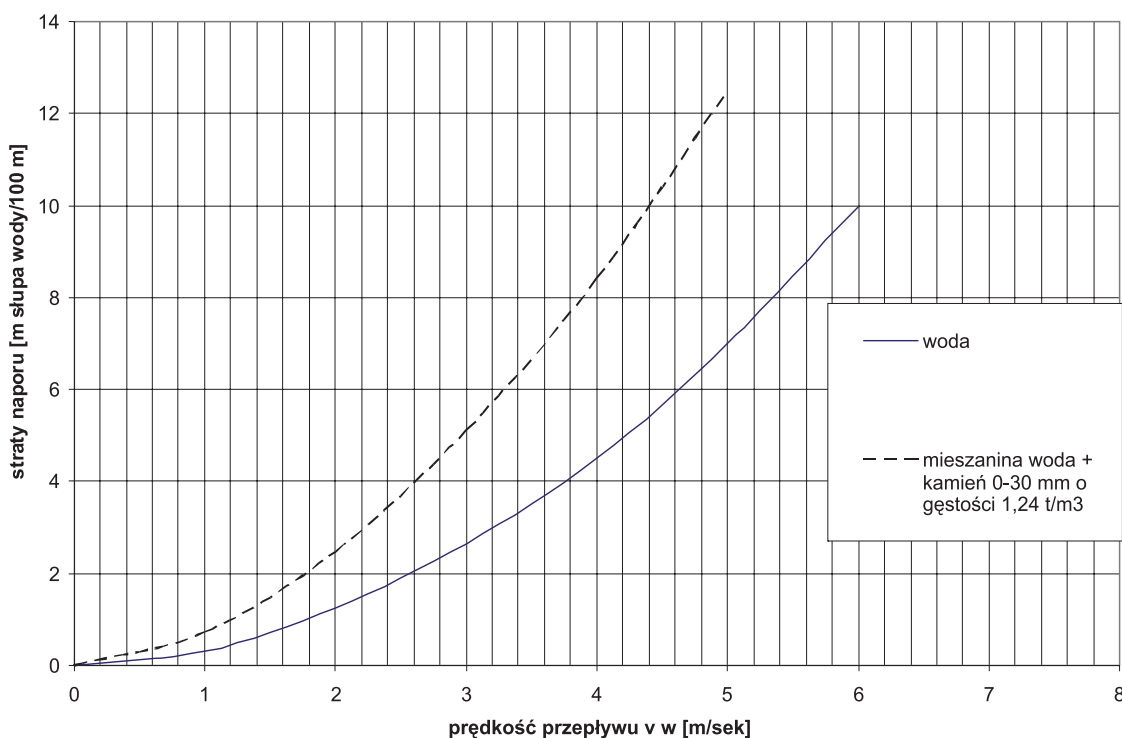
gdzie: Q – natężenie przepływu; H – wysokość podnoszenia; P – zapotrzebowanie mocy; n – obroty.

Liczbą charakteryzującą w sposób poglądowy i jednoznaczny typ wirnika jest wyróżnik szybkobieżności. Kinematyczny wyróżnik szybkobieżności n_{sQ} określa wzór:

$$n_{sQ} = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (6)$$

Wartość wyróżnika szybkobieżności jest tym większa, im większa jest wydajność i szybkość obrotowa wirnika, a tym mniejsza, im większa wysokość podnoszenia. A zatem pompy o dużej wysokości podnoszenia, a stosunkowo małej wydajności, są pompami wolnobieżnymi. Z kolei pompy o małych wysokościach podnoszenia a dużej wydajności to pompy szybkobieżne.

Pompy stosowane do hydrotransportu mieszaniny wody i ciał stałych różnią się pod względem konstrukcji jak i rodzaju materiałów użytych do ich wykonania od pomp stosowanych do wody. Decydujący wpływ ma tutaj zawartość ciężarowa części stałych w mieszaninie β (β = ciężar części stałych/objętość mieszaniny [g/litr]), a w związku z tym gęstość pompowanej mieszaniny, wielkość ziaren ciała stałego jak i właściwości ściernie. Najczęściej pompy do hydrotransportu posiadają wirniki i kadłuby wyłożone trudnościerną gumą lub poliuretanem. Na żywotność wykładziny duży wpływ ma prędkość przepływającej mieszaniny.



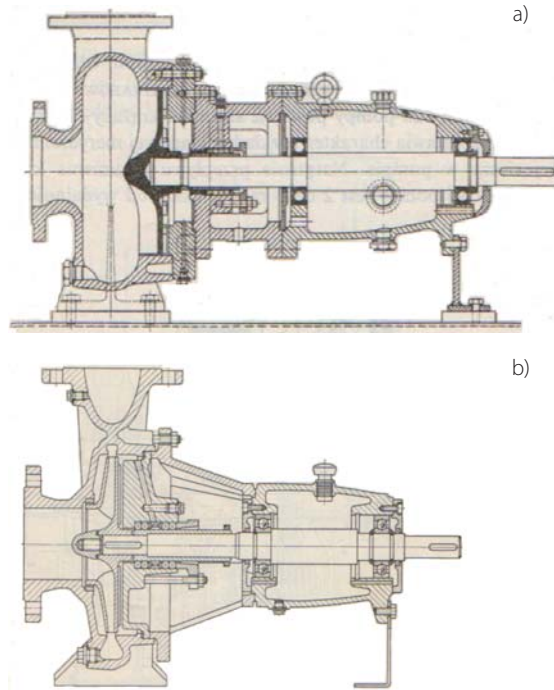
Rys. 3. Zależność jednostkowych strat naporu od prędkości przepływu dla wody i mieszaniny (woda + kamień), rurociąg $\varnothing_{wew} = 185$ mm [4]

Pod koniec ubiegłego stulecia w zakładach przeróbki kruszyw najczęściej pracowały pompy POWEN Zabrze, a także innych krajowych producentów, jak: KFP Białogon czy ŚFUP Świdnica. Obecnie oprócz pomp firm polskich mamy duży wybór pomp takich przedsiębiorstw jak: WARMAN, FLYGT, HABERMAN i in.

Do transportu hydraulicznego kruszyw szczególnie przydatne są pompy wirowe odśrodkowe o swobodnym przepływie. Odnaczają się one niewrażliwością na zatykanie. Ich podstawową cechą konstrukcyjną jest zastosowanie wirnika otwartego o promieniowych łopatkach, umieszczonego w kadłubie pompy w ten sposób, że między wirnikiem a pokrywą kadłuba zostaje utworzona swobodna przestrzeń o znacznej szerokości. Mogą być one stosowane do transportu różnych ciał stałych z wodą jak np. kruszyw, węgla, buraków cukrowych itp. W porównaniu z pompami wirowymi o wymuszonym przepływie odznaczają się prostszą budową i większą trwałością. Wadami pomp o swobodnym przepływie są ograniczone wysokości podnoszenia ($h < 100$ m) i niski współczynnik sprawności ($\eta \sim 0,5$). Przekroje pompy wirowej odśrodkowej o swobodnym przepływie i o przepływie wymuszonym przedstawiono na rysunku 4.

W projektowaniu układu pompowego bardzo ważnym elementem jest sposób podawania mieszanki do pompy. Pompy wirowe odśrodkowe powinny pracować z napływem lub posiadać możliwość napełnienia kręca ssawnego na czas rozruchu. Przy pompowaniu mieszanki wody i ciała stałego ważne jest, aby zbiornik zasilający pompę posiadał odpowiednio wyprofilowane dno, tak by nie następowało osadzanie się ciała stałego przed wlotem do pompy. Pogorszenie się warunków ssania pompy jest szczególnie ważne ze względu na proces kawitacji, której powstanie związane jest z warunkami pracy w obszarze ssawnym pompy. Kawitacja to zjawisko tworzenia się a następnie zanikania, wewnątrz poruszającej się cieczy, obszarów wypełnionych parą cieczy i wydzielającymi się z niej gazami. Pęcherzyki parowo-gazowe powstają w obszarach najniższego ciśnienia, a uniesione przez przepływającą ciecz do obszaru wyższego ciśnienia ulegają zjawisku implozji. W czasie implozji polegającej na raptownym (czas $< 0,001$ s) zasklepieniu się pęcherzyków, miejscowe ciśnienie może osiągnąć wartość do 350 MPa. Kawitacji towarzyszy szum i trzaski, a przy dużym natężeniu silny hałas spowodowany wibracjami pompy. Ponieważ implozja pęcherzyków następuje z wielką częstotliwością, powierzchnie przewodów czy wirnika pompy poddane są działaniu fal ciśnieniowych powodujących ich niszczenie, różniące się od zniszczeń spowodowanych korozją lub erozją. Kawitacji zapobiega się sposobami konstrukcyjnymi (np. stosowanie odpowiednich wirników), instalacyjnymi (np. mała wysokość ssania) czy wykorzystując odpowiednie materiały odporne na działanie kawitacji (stale nierdzewne, brązy aluminiowe, tworzywa sztuczne i guma).

Trasa rurociągu powinna być tak wykonana, aby była możliwość opróżnienia go z pompowanej mieszanki. Wygodnie jest stosować zawory zwrotne montowane za króćcem tłocznym, które uniemożliwiają powrót pompowanej mieszanki w przypadku zatrzymania pompy. Zjawisko to może być przyczyną nieprawidłowej pracy układu pompowego. W zakładach, w których pompowane były materiały o działaniu ścierającym (np. chalcodonit)



Rys. 4. Pompy wirowe odśrodkowe:
a) o swobodnym przepływie,
b) o wymuszonym przepływie (najbardziej rozpowszechniony typ pompy) [2]

stosowano okresowe obracanie rurociągu, aby umożliwić jego równomierne wycieranie.

Znajomość omawianej wcześniej charakterystyki pracującego układu pompowego jest ważna kiedy np. chcemy

Reklama

Sumitomo Drive Technologies

Dystrybutor Zeva Creator
 47-154 Góra Św. Anny
 ul. Prof. Olescha 6
www.zevacreator.com
 tel. fax: 0774615453 0774615379

cykloidalne i zębate napędy maszyn i urządzeń przemysłowych:

- motoreduktory o mocy od 6W do 55kW
- reduktory o momentach do 600kNm
- przełożenia do od 3:1 do 650000:1
- reduktory bezluzowe do robotów
- niskoluzowe do dozowników
- reduktory cykloidalne do wirówek
- wykonania specjalne do dźwigów, pras, chłodni kominowych i innych
- różne odmiany mocowań i zasilania

zainstalować nowe urządzenie. Sytuacja taka często miała miejsce w zakładach przeróbki kruszyw, gdy w istniejący układ pompowy podający szlamy płuczkowe planowano zamontować hydrocyklony. Hydrocyklony wymagają odpowiedniego ciśnienia podawanej mieszaniny, stąd jest to znaczne obciążenie dla pompy tłoczącej.

W zakładach przeróbki kruszyw pompy stosowane są w wielu operacjach technologicznych, do których zaliczyć można: odwadnianie kopalń, eksploatację żwirów i piasków spod wody (pompy będące wyposażeniem koparek ssących), hydrotransport kruszyw, pompowanie szlamów płuczkowych do osadników, zasilanie instalacji natryskowych przesiewaczy, zasilanie hydrocyklonów i inne. Znane są też specyficzne zastosowania pomp jako np. urządzeń do płukania kruszywa. W kopalni wapienia zanieczyszczone kruszywo o granulacji 0-40 mm, zgromadzone w odpowiednim zbiorniku usytuowanym przed pompą, podawane było wraz z wodą przez szeregowo ustawione pompy na przesiewacze wibracyjne. Podczas przejścia kruszywa przez pompę następowało rozmycie zanieczyszczeń gliniastych, które następnie oddzielane były na pokładach sitowych przesiewaczy od czystego kruszywa.

Pompy wirowe stosowane są również do wielu innych zadań specjalnych. Wspomnieć można o pompach głębinowych, pompach zasobnikowych czy pompach do zasilania kotłów parowych. Jako ciekawostkę można podać, że w tych ostatnich liczba stopni dochodzi do 15, a niekiedy wynosi nawet dwukrotnie więcej. Pompy stosowane na pogłębiarkach mogą przetransportować do 1500 m³/h mieszaniny wody z kruszywem na odległość do 4 km. Moc silnika napędowego wynosi do 5000 kW. W górnictwie

węglowym pompy stosowane są do transportu węgla jak i piasków podsadzkowych. Różne pompy do hydrotransportu węgla posiadają wydajności do 500 m³/h, wysokości podnoszenia do ok. 100 m, a średnica transportowanych ziaren może sięgać 100 mm. W wielostopniowych pompach odwadniających (dla wody czystej) osiągane są wysokości podnoszenia H = 1000 m.

Pompy wirowe mają ogólną wadę – gdy pracują ze ssaniem, ich wnętrza łącznie z rurociągiem ssawnym musi być napełnione cieczą i odpowietrzone. Wady tej nie mają pompy wirowe samozasysające, które posiadają zdolność samoczynnego usunięcia powietrza z rurociągu ssawnego i napełnienia go cieczą. Działanie pomp samozasysających bazuje na różnych zasadach. Do najbardziej rozpowszechnionych należą pompy krążeniowe, pompy o pierścieniu wodnym, a także samozasysające pompy odśrodkowe.

Literatura

1. Palarski J. Hydrotransport. WNT Warszawa 1982
2. Troskoleński A.T., Łazarkiewicz S. Pompy wirowe. WNT Warszawa 1973
3. Krawczyński A. Naziemiec Z. Płukanie kamienia wapiennego w pompach wirowych. Cement Wapno Gips. Nr 1/88. Kraków 1988
4. Krawczyński A. Naziemiec Z. Frymar J.: Opracowanie technologii odzysku kamienia wapiennego z odpadów zalegających zwalowiiska. IPWMB, Kraków 1985 (nie publ.)
5. Battaglia A. Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek. Wydawnictwo Górnictwo-Hutnicze. Katowice 1963
6. Pompy wirowe do hydrotransportu DTR ZFMG, „Powen”. WA Warszawa 1984

Reklama



www.tezebni-unie.cz

**VII Międzynarodowe Targi Demonstracyjne
Maszyn i Urządzeń Przemysłu
Wydobywczego, Przetwórczego
i Budowlanego**

**EXPO
MOKRÁ
10. - 12. 6. 2008**

