

# Przepływ ciecży w pompie wirowej

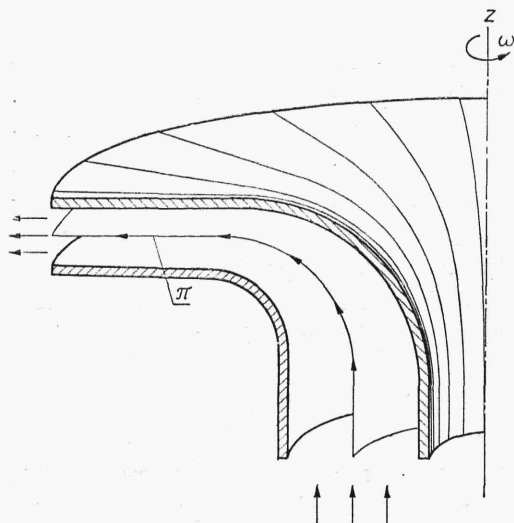
## 9

### 9.1. Podstawy teoretyczne i kinematyka przepływu przez wirnik

W pompie wirowej występuje zjawisko *ruchu okrężnego wymuszonego*, zastosowanego do przenoszenia energii z silnika napędzającego do podnoszonej cieczy za pośrednictwem łopatek wirnika. Należy tu na wstępie zaznaczyć, iż w pompie wirowej występuje przepływ burzliwy, co nam pozwoli na porównywanie przepływu dla cieczy doskonałej i rzeczywistej.

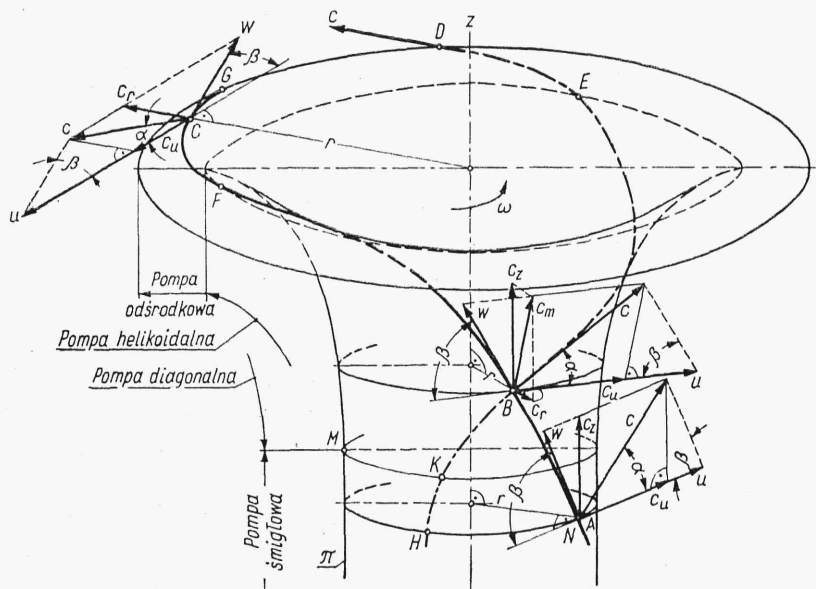
Przy przepływie przez pompę ciecz doznaje przyrostu energii tylko w obszarze wirnika. Po opuszczeniu tego obszaru ciecz zachowuje stałą energię (pomijając miejscowe straty) we wszystkich dalszych kanałach przepływowych i przyrosty energii cząstkowych mogą występować jedynie kosztem pozostałych energii (zgodnie z prawem Bernoulliego dla układu odosobnionego).

W niniejszym rozdziale zajmujemy się przepływem cieczy przez sam wirnik, przyjmując na wstępie przepływ cieczy doskonałej. Wyobraźmy sobie przepływ przez wirnik w najogólniejszej formie, jak to przedstawiono na rys. 9.1. Ciecz wpływa



Rys. 9.1  
Przepływ cieczy przez wirnik pompy  
wirowej

Weźmy pod uwagę przepływ jednej cząsteczki cieczy na powierzchni prądu  $\pi$ , przedstawionej w ujęciu perspektywicznym na rys. 9.1, a następnie na rys. 9.2.



Prędkość bezwzględna  $c$  cząsteczki cieczy jest wypadkową prędkości  $u$  i  $w$ , określoną z wieloboku prędkości. Zauważmy, iż wielobok ten leży w płaszczyźnie stycznej do powierzchni walcowej w punkcie  $A$ , przez to równoległej do osi obrotu  $z$ . Prędkość bezwzględną  $c$  można następnie rozłożyć na składowe  $c_z$  w kierunku osi

i  $c_u$  w kierunku unoszenia (obwodowym). Kąt  $\alpha$  określa nachylenie prędkości bezwzględnej  $c$  do stycznej do obwodu, kąt  $\beta$  — nachylenie względnego toru (nachylenie łopatki) do kierunku obwodowego. *Torem bezwzględnym cząsteczki*, czyli linią prądu jest oczywiście pewna linia śrubowa będąca przedłużeniem linii  $NA$  (nie uwidocznioma na rysunku z obawy przed jego zaciemnieniem) o identycznym kształcie jak linia  $HKBED$ , będąca linią prądu cząsteczki znajdującej się w danym momencie w punkcie  $B$ .

Oczywiste jest, iż cząsteczka poruszając się po cylindrycznej części powierzchni prądu nie ma składowej prędkości  $c_r$  w kierunku promieniowym (dośrodkowym lub odśrodkowym). Jest to więc *przepływ dwuwymiarowy*. Pokazany przepływ charakteryzuje *pompy śmigłowe*. Należy podkreślić, iż w pompach śmigłowych prędkość bezwzględna  $c$  na wlocie do wirnika ma zwykle kierunek osiowy  $c_{os} = c_z$ , co jest równoznaczne z niewystępowaniem wstępnego zawirowania na wlocie do wirnika.

Między okręgami kół  $M$  i  $F$  powierzchnia prądu  $\pi$  ma krzywiznę przestrzenną o kształcie zbliżonym do stożka, a w specjalnych konstrukcjach ściśle stożkową. Cząsteczka porusza się po niej ruchem ukośnym, pośrednim między poprzednim ruchem osiowym a ruchem odśrodkowym<sup>1)</sup>. Jest to *przepływ trójwymiarowy*.

Prędkości obwodowe  $u$  i względna  $w$  dają prędkość wypadkową  $c$  cząsteczki, podobnie jak w rozpatrywanym uprzednio punkcie  $A$ . W punkcie  $B$  płaszczyzna wieloboku prędkości  $\bar{u}$ ,  $\bar{w}$  i  $\bar{c}$ , ściśle styczna do powierzchni prądu w tym punkcie, jest w stosunku do osi obrotu ustawiona ukośnie.

Przeprowadźmy przez punkt  $B$  i oś obrotu  $z$  płaszczyznę południkową (merydionalną), a następnie rozłóżmy prędkość bezwzględną  $c$  na składową południkową (merydionalną)  $c_m$  leżącą w tej płaszczyźnie i składową obwodową  $c_u$  w kierunku obwodowym (unoszenia). W ten sposób trójwymiarowy przepływ możemy rozłożyć na *przepływ południkowy*, w którym cząsteczki cieczy poruszają się z prędkościami  $c_m$  i *przepływ okrężny*, w którym cząsteczki o prędkościach  $c_u$  poruszają się po okręgach leżących w płaszczyznach prostopadłych do osi obrotu wirnika. Prędkość południkową  $c_m$  można w płaszczyźnie południkowej rozłożyć na składową osiową  $c_z$  i promieniową  $c_r$ .

Rozpatrywany przepływ trójwymiarowy wymaga stosowania łopatek wirnika o przestrzennej krzywiznie. Określa on *pompy helikoidalne*, w których po wypływie z wirnika ciecz jest zbierana i odprowadzana w kierunku odśrodkowym za pomocą kanałów zbiorczych oraz *pompy diagonalne*, w których po wypływie z wirnika ciecz jest odprowadzana i kierowana za pomocą łopatek kierowniczych z powrotem w kierunku osiowym. Dalsze różnice między pompami helikoidalnymi i diagonalnymi będą omówione w rozdz. 10 i 12.

Trzeci rodzaj przepływu cząsteczki przez wirnik wystąpi w obszarze, gdy powierzchnia prądu  $\pi$  przechodzi w płaszczyznę prostopadłą do osi  $z$ . Torem względnym płaskim cząsteczki jest linia  $FCG$  (rys. 9.2) zaś torem bezwzględnym (linia prądu) krzywa o kształcie  $ED$ . Wielobok prędkości  $\bar{u}$ ,  $\bar{w}$  i  $\bar{c}$  leży w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu. Jest to więc odśrodkowy przepływ cząsteczki, właściwy dla

<sup>1)</sup> W literaturze angielskiej ruch ten ma nazwę *mixed-flow*, w niemieckiej — *halbaxial* lub *schrauben-förmig*.

*pomp odśrodkowych. Ruch cząsteczki jest tu dwuwymiarowy (płaski). Rzutem prędkości bezwzględnej  $c$  na płaszczyznę południkową, przechodzącą przez punkt  $C$ , jest prędkość  $c_r$  o kierunku promieniowym, jako szczególna wielkość prędkości południkowej  $c_m$ . Oczywiście składowa osiowa prędkości  $c_z = 0$ . Zwykle w obliczeniach pomp odśrodkowych na określenie prędkości południkowej o kierunku promieniowym, zamiast symbolu  $c_r$  używamy ogólniejszego symbolu  $c_m$ .*

Który z omówionych kształtów przepływu przez wirnik występuje, czyli jaki to będzie rodzaj pompy, zależy od wzajemnego stosunku wartości głównych parametrów pompy: wydajności  $Q$ , wysokości podnoszenia  $H$  i prędkości obrotowej  $n$ . Dokładniejsze omówienie tego zagadnienia zostanie przeprowadzone w p. 9.3.

## 9.2. Przemiany energetyczne przy przepływie przez wirnik. Podstawowe równanie pomp wirowych

### 9.2.1. Jednostkowa praca pompowania wirnika. Równanie podstawowe pomp wirowych

*Pracą jednostkową pompowania wirnika  $L_{I\infty}$ <sup>1)</sup> nazywamy pracę teoretyczną oddaną 1 kg masy pompowanej cieczy (przez to zwiększającą jej energię) na drodze od wlotu do wylotu z wirnika (poprawnie od dopływu do wypływu z wirnika, a ściślej w obrębie oddziaływania łopatek wirnika na ciecz, tj. od krawędzi wlotowej do wylotowej łopatki).*

Zgodnie z punktem 9.1 rozpatrzmy przepływ wzdłuż środkowej linii prądu, oznaczając punkt początkowy indeksem 1, punkt końcowy indeksem 2. Niech linia  $HKBED$  na rys. 9.2 będzie środkową linią prądu, zaś punkty  $H$  i  $D$  punktami 1 i 2. Biorąc pod uwagę przyrosty prędkości  $u$ ,  $w$  i  $c$  wzdłuż tej linii możemy określić *jednostkową pracę wirnika*, jako sumę przyrostów energii tych prędkości

$$L_{I\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} \quad (9.1)$$

Przestawienie kolejności wyrazów w trzecim członie wynika z większej wartości  $w_1$  niż  $w_2$ , jak to stwierdzimy poniżej. Pierwszy człon określa przyrost energii prędkości cieczy w obrębie wirnika, drugi człon — przyrost energii ciśnienia, trzeci — również przyrost energii ciśnienia wywołany zmniejszeniem się prędkości względnej przy przepływie przez dyfuzorowe kanały międzyłopatkowe wirnika.

Dzieląc równanie (9.1) przez przyspieszenie grawitacyjne  $g$  otrzymamy *teoretyczną wysokość podnoszenia przy nieskończenie wielkiej liczbie łopatek*

$$\frac{L_{I\infty}}{g} = H_{th\infty} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} \quad (9.2)$$

gdzie indeks  $th$  oznacza *teoretyczną* — zaś indeks  $\infty$  nieskończenie wielką liczbę łopatek.

<sup>1)</sup> Ponieważ przekazywanie energii następuje za pośrednictwem łopatek, w literaturze technicznej zagranicznej [5], [11] jednostkowa praca wirnika  $L_I$  nosi nazwę *specyficznej pracy łopatek* (*spezifische Schaufelarbeit*).