

9.4. Przegląd teorii przepływu przez wirnik pompy wirowej

9.4.1. Jednowymiarowa teoria przepływu

Dokładne ujęcie obliczeniowe przepływu przez wirnik, z uwzględnieniem wszystkich zjawisk temu towarzyszących, jak trójwymiarowość przepływu i lepkość cieczy rzeczywistej, okazało się bardzo trudne. Jeżeli uwzględnimy ponadto, że moment obrotowy wirnika oddziałuje na ciecz przez napór łopatek i że wtedy po obu stronach każdej łopatki musi występować różnica ciśnień, a więc i różnica prędkości, otrzymamy pola nieciągłości ciśnień i prędkości praktycznie uniemożliwiające ułożenie formuł matematycznych określających przepływ przez wirnik.

Przyjęcie wielu założeń upraszcza w znacznym stopniu zagadnienie przepływu sprowadzając go do przepływu jednowymiarowego.

W dalszym ciągu rozważań przyjmujemy przepływ cieczy doskonałej opierając się na stwierdzeniu, że:

- przebieg linii prądu przy przepływie cieczy rzeczywistej jest podobny do przebiegu linii prądu cieczy doskonałej,

- prędkość merydionalna c_m jest stała wzdłuż danej trajektorii — normalnej do linii prądu,

- zakładamy symetrię przepływu względem osi wirnika (jest ona wynikiem założenia nieskończenie wielu przystających do siebie nieskończenie cienkich łopatek); linie prądu wszystkich cząsteczek są do siebie przystające, a więc możemy przepływ przez kanał międzyłopatkowy zastąpić przepływem wzdłuż jednej, środkowej linii kanału skupiającej całe natężenie przepływu, stąd nazwa *jednowymiarowa teoria*.

Na podstawie jednowymiarowej teorii pomp wirowych zostały opracowane metody obliczania wirników, m. in. przez C. Pfeiderera [4], A. Stepanoffa [8], G. Proskurę [17] i I. Pecka [18]. Spośród nich największe zastosowanie, ze względu na prosty sposób obliczania, znalazła metoda C. Pfeiderera. Dlatego, w celu łatwiejszego zilustrowania przemian energetycznych w wirniku, została ona już wstępnie wspomniana w poprzednim rozdziale i będzie w dalszych rozdziałach szczegółowo omówiona przy obliczaniu hydraulicznym pomp. Wadą metody C. Pfeiderera jest nieuwzględnianie wpływu kształtu łopatki oraz kąta wlotowego β_1 na właściwości hydrauliczne wirnika.

Metoda A. Stepanoffa polega m.in. na zastosowaniu wyników licznych doświadczeń do określenia wielkości geometrycznych wirnika, jak również prędkości i współczynników pomocnych do określenia niektórych wielkości fizycznych. Poza tym metoda ta opiera się częściowo na metodzie C. Pfeiderera. W praktyce przyjęto tylko niektóre formuły obliczeniowe z metody A. Stepanoffa.

Metoda jednowymiarowa G. Proskury jest porównywalna do metody C. Pfeiderera, przy czym uwzględnia on również wpływ kąta β_1 nachylenia łopatki na wlocie na rzeczywistą wysokość podnoszenia, czego nie uwzględnia C. Pfeiderer. Metoda G. Proskury jest bardzo rozpowszechniona w ZSRR.

Metoda I. Pecka oparta na współczynniku zmniejszenia poboru mocy p (C. Pfeiderera) (nazywanym w literaturze polskiej również *współczynnikiem niedoboru mocy*) nie znalazła dużego zastosowania.

9.4.2. Dwuwymiarowa teoria pomp wirowych

Metoda ta dotyczy głównie wirnika o przestrzennej krzywiznie łopatek. Również w tej metodzie zakłada się przeważnie przepływ osiowo-symetryczny cieczy przez wirnik. Następnie rzeczywisty przepływ trójwymiarowy rozkłada się na dwa przepływy — dwuwymiarowy przepływ południkowy oraz dwu- lub jednowymiarowy przepływ w rzucie osiowym wirnika. W przepływie południkowym zostaje uwzględniona zmienność prędkości południkowej c_m wzdłuż trajektorii, tj. normalnej do linii prądu. Rozkład prędkości określa wzór

$$\ln \frac{c_m}{c_{m1}} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R} \quad (9.19)$$

gdzie R —promień krzywizny linii prądu.

Rozwinięcie metody dwuparametrowej podał m. in. E. Faschallegg [19]. Trójwymiarowy przepływ przez wirnik rozkłada on na dwuwymiarowy w płaszczyźnie południkowej i jednowymiarowy w rzucie osiowym wirnika.

Przy przepływie południkowym E. Faschallegg, wychodząc z równania równowagi sił działających w kierunku normalnym do linii prądu (przy uwzględnieniu działania siły odśrodkowej zależnej od c_u/r) oraz z równania D. Bernoulliego dla przepływu względnego ułożył zależność określającą rozkład prędkości c_m wzdłuż trajektorii.

Na krawędzi wlotowej $c_u = 0$ i zależność E. Faschallegga przybiera postać podaną we wzorze (9.15). Metoda E. Faschallegga jest pracochłonna i w odniesieniu do wlotu na wirnik mało dokładna. W projektowaniu pomp nie znalazła dużego zastosowania.

9.4.3. Aerodynamiczna teoria pomp śmigłowych

W odniesieniu do pomp śmigłowych omówiona (w p. 9.4.1) jednowymiarowa teoria przepływu nie dawała zadowalających wyników. W pompie śmigłowej łopatki nie tworzą zamkniętych kanałów przepływowych, a sam przepływ przez wirnik nie ma cech ruchu okrężnego wymuszonego, lecz ma charakter przepływu przez palisadę łopatek, w którym występuje opływ wokół łopatek w kształcie płatów nośnych. Z tych względów w pompach śmigłowych stosuje się powszechnie *teorię aerodynamiczną przepływu przez palisadę*. Polega ona na traktowaniu łopatek wirnika oraz kierownicy jako dwu palisad cylindrycznych (ruchomej i stałej), złożonych z opływowych płatów. Należy przy tym zastosować na łopatki płaty nośne o właściwym profilu aerodynamicznym, tak, aby pracując w palisadzie spowodowały właściwe działanie pompy i zapewniły uzyskanie żądanej wartości parametrów.

Spśród kilku metod projektowania pomp śmigłowych na podstawie aerodynamicznej teorii przepływu najbardziej są znane *metody W. Bauersfelda i J. Woźniesińskiego*. Polegają one na przeniesieniu właściwości odosobnionego płata nośnego, o znanych cechach aerodynamicznych profilu (patrz p. 2.4), na płat znajdujący się w cylindrycznej palisadzie wirnika pompy. W *metedzie W. Bauersfelda* przyjmuje

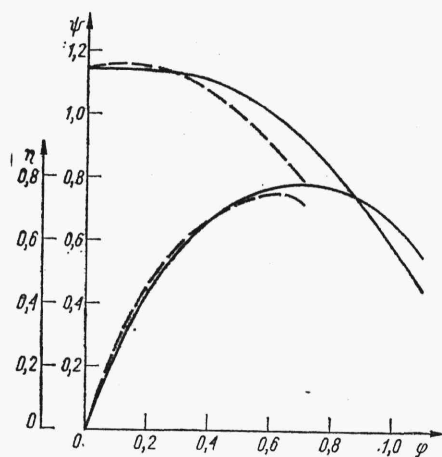
się profile o kształtach już uprzednio opracowanych przez placówki naukowo-badawcze, zaś w metodzie J. Woźniesieńskiego zakłada się cienie łopatk w kształcie łuków kołowych (ściśle powierzchni walcowych), a następnie kształtuje się ich grubość wg przyjętych profilów aerodynamicznych.

Metoda aerodynamiczna projektowania pompy śmigłowej zostanie szczegółowo omówiona w rozdz. 13.

9.4.4. Teoria przepływu przez wirnik z zastosowaniem metody punktów osobliwych

Teoria ta należy do najnowszych i jest w obecnym czasie udoskonalana i wprowadzana do projektowania pomp przez niektóre placówki naukowo-badawcze, m. in. w NRD, RFN, na Węgrzech oraz w Polsce — w Politechnice Wrocławskiej. Znane są publikacje na temat metody punktów osobliwych, m. in. T. Cziberego [20], M. Hofmeistera [21], [22], K. Rohatyńskiego [23], [24] oraz Sz. Łazarkiewicza i A. T. Troskołańskiego [15], [42].

Teoria z zastosowaniem metody punktów osobliwych zakłada rozkład trójwymiarowego przepływu przez wirnik na dwa przepływy dwuwymiarowe: przepływ południkowy oraz przepływ na powierzchni prądu. Zakłada się, że nieciągłość pola prędkości po obu stronach łopatki jest wynikiem układu linii wirowych na powierzchni łopatki. Następnie oddziaływanie powierzchni łopatki na ciecz zostaje zastąpione oddziaływaniem powierzchni wirowej, zaś wpływ rozkładu grubości łopatki na pole prędkości uwzględnia się przez przyjęcie rozkładu źródeł i upustów wzdłuż szkieletowej łopatki. Metoda ta uwzględnia również wzajemne oddziaływanie łopatek. Dla uproszczenia obliczeń stosuje się odwzorowanie konforemne palisady kołowej łopatek wirnika na palisadę prostoliniową.



Rys. 9.4

Porównanie charakterystyk $\psi=f(\varphi)$ i $\eta=f(\varphi)$ wirnika obliczonego metodą jednowymiarową i metodą punktów osobliwych wg A. Verba i A. Szabo;

— wirnik z łopatkami obliczonymi metodą punktów osobliwych ($\beta_1=8^\circ$, $\beta_2=20^\circ$),
 - - - wirnik z łopatkami w kształcie spirali logarytmicznej ($\beta_1=\beta_2=18^\circ$)

Otrzymane dotychczas wyniki badań pomp zaprojektowanych według tej metody pozwalają sądzić o jej wyższości nad innymi metodami, o czym świadczy rys. 9.4.

Wymaga ona jednak stosunkowo żmudnych obliczeń za pomocą maszyny matematycznej. Dotychczas nie została opracowana jej ostateczna forma, łatwa do wdrożenia i powszechnego stosowania przez projektantów pomp.