

13.2. Jednowymiarowa teoria przepływu przez wirnik pompy śmigłowej

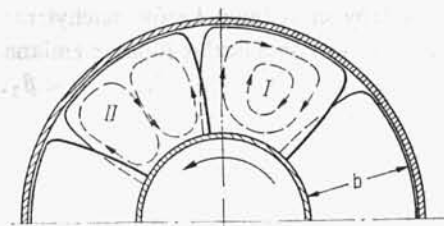
W rozdz. 9 rozpatrzono przepływ przez wirnik pompy wirowej z podziałem na przepływ odśrodkowy, ukośny i osiowy zgodnie z jednowymiarową teorią przepływu zakładającą m.in. nieskończenie wielką liczbę łopatek. W punkcie tym zostały wyprowadzone podstawowe równania (9.3) i (9.4) dla pomp wirowych oraz ich szczególne postacie (9.14) i (9.15) dla pomp śmigłowych.

W rozdz. 11 i 12 omówiono zmiany rozkładu i wartości prędkości względnych występujących w wirnikach pomp odśrodkowych oraz helikoidalnych i diagonalnych przy skończonej liczbie łopatek. C. Pfeleiderer tłumaczył to występowaniem wiru międzyłopatkowego, jako skutku bezwładności cieczy w przestrzeni międzyłopatkowej.

W przypadku przepływu ściśle osiowego w wirniku pompy śmigłowej występują (przy skończonej liczbie łopatek) również zjawiska zawirowania międzyłopatkowego.

Poszczególne wiry o prędkości kątowej $-\omega$ powstają w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu, między poszczególnymi łopatkami. Na rys. 13.2 są one oznaczone cyfrą *I*. Cząsteczki cieczy otrzymują wprawdzie dodatkowe składowe prędkości względnej: na obwodzie zewnętrznym i przy piąście o kierunkach obwodowych, a między łopatkami o kierunkach promieniowych (patrz wir *I* na rys. 13.2), ale nie spowoduje to istotnej zmiany prędkości względnych w przepływie przez palisadę wirnika, odbywającym się na powierzchni cylindrycznej (a w rozwinięciu na płaszczyźnie) *prostopadłej* do płaszczyzny wirowania wirnika oraz płaszczyzny względnego wiru *I*.

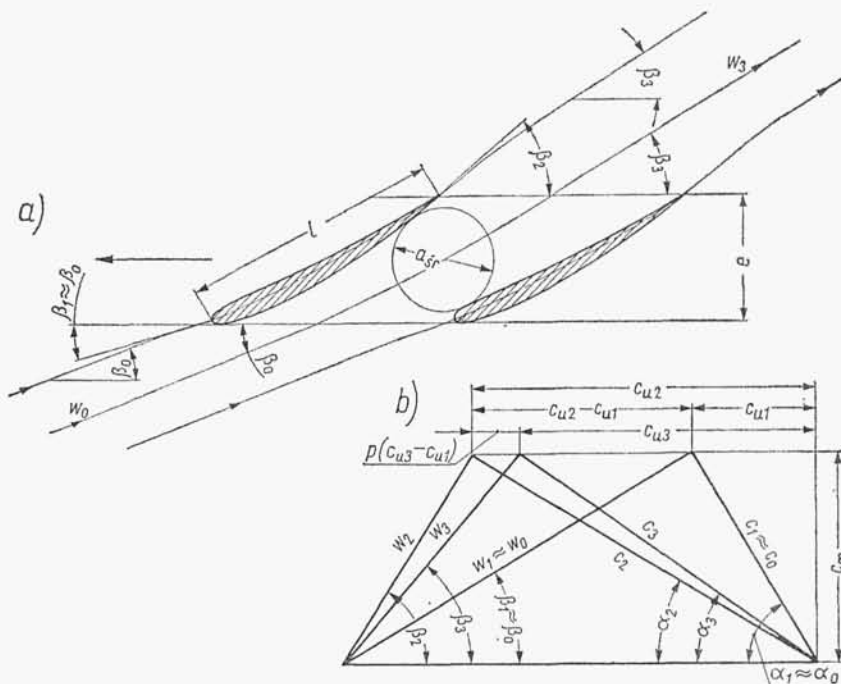
Ponadto lepkość cieczy rzeczywistej spowoduje powstanie warstwy przysciennej wokół łopatek. Warstwa ta podlega silniejszemu oddziaływaniu sił odśrodkowych niż pozostałe cząsteczki cieczy, w wyniku czego powstanie wtórny ruch wirowy *II* (rys. 13.2).



Rys. 13.2
Wtórne zawirowanie w wirniku

Zjawisko to wg C. Pfeleiderera wywiera nawet korzystny wpływ na przepływ rzeczywisty, przybliżając go do przepływu cieczy idealnej, jednak na przepływ względny przez palisadę wirnika nie wpływa, podobnie jak wir *I*.

W przypadku przepływu przez wirnik śmigłowy o większej liczbie łopatek (tworzących kanały międzyłopatkowe) można jednak mówić o wpływie skończonej liczby łopatek na jednostkową pracę wirnika, a więc i na wysokość podnoszenia. W kanałach międzyłopatkowych wystąpi bowiem zawirowanie dzięki bezwładności cieczy, jako przeciwstawienie się zmianie kierunku przepływu wymuszonej przez ukształtowane kanały. Zawirowanie występuje w płaszczyznach stycznych do cylin-



Rys. 13.3. Schemat przepływu cieczy przez palisadę profili: a) rozwinięcie palisady, b) wieloboki prędkości

drycznych powierzchni prądu, w których leżą również prędkości względne i bezwzględne cieczy. Wpływ zawirowania na pole prędkości cieczy przedstawiono na rys. 13.3.

Rozpatrzmy przepływ przez rozwiniętą palisadę łopatek wirnika (szczegółowe omówienie palisady podano w p. 13.4) przedstawiony na rys. 13.3a. Przy nieskończonej liczbie nieskończenie cienkich łopatek i nieskończenie małej wzajemnej ich odległości, zmiana kierunku względnego przepływu równałaby się różnicy kątów nachylenia łopatek na wypływie i dopływie, czyli $\beta_2 - \beta_1$. Przy skończonej liczbie łopatek zmiana kierunku przepływu jest mniejsza i wynosi $\beta_3 - \beta_0$, gdyż z rysunku wynika, iż $\beta_3 < \beta_2$, natomiast $\beta_0 > \beta_1$. Ponieważ różnica między kątami β_0 i β_1 jest bardzo mała, została ona w dalszych rozważaniach pominięta. Podstawowe równanie pomp z p. 9, określające jednostkową pracę wirnika, przyjmie postać:

— dla nieskończonej wielkiej liczby łopatek

$$L_{I\infty} = u(c_{u2} - c_{u1}) \quad (13.1)$$

— dla skończonej liczby łopatek

$$L_I = u(c_{u3} - c_{u1}) \quad (13.1a)$$

Podobnie wysokość podnoszenia pompy śmigłowej — określona wzorem (9.14) — wyniesie przy nieskończonej wielkiej liczbie łopatek

$$H_{th\infty} = \frac{u}{g}(c_{u2} - c_{u1}) = \frac{1}{g} u \Delta c_{u\infty} \quad (13.2)$$

oraz przy skończonej liczbie łopatek

$$H_{th} = \frac{u}{g} (c_{u3} - c_{u1}) = \frac{1}{g} u \Delta c_u \quad (13.2a)$$

przy czym występują związki

$$\frac{L_{I\infty}}{L_I} = \frac{H_{th\infty}}{H_{th}} = 1 + p = \frac{c_{u2} - c_{u1}}{c_{u3} - c_{u1}} \quad (13.3)$$

Współczynnik zmniejszenia poboru mocy p określono za pomocą wzoru (11.36)

$$p = \frac{\chi r^2}{Z M_{st}}$$

W przypadku wirnika śmigłowego moment statyczny M_{st}

$$M_{st} = re \quad (13.4)$$

gdzie e — długość osiowa łopatki (rys. 13.4).

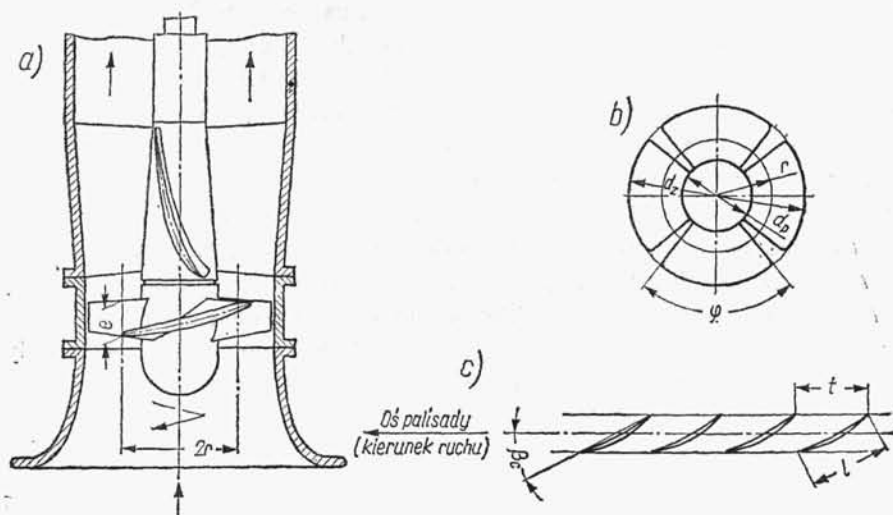
Wzór określający współczynnik p przybierze postać

$$p = \frac{\chi r}{Ze} \quad (13.5)$$

Współczynnik χ określa przybliżona formuła

$$\chi = (1 \div 1,2) (1 + \beta_{2sr}/60^\circ) \quad (13.6)$$

Obliczony dla średniej linii prądu współczynnik χ przyjmuje się jako stały dla wszystkich przekrojów. Zmianie ulega natomiast wartość współczynnika p ze względu na zmienność wartości r i e . Wieloboki prędkości na wypływie z wirnika dla nieskończonej wielkiej i skończonej liczby łopatek przedstawiono na rys. 13.3b oznaczając prędkości indeksami odpowiednio 2 i 3.



Rys. 13.4. Palisada łopatek wirnika pompy śmigłowej

Jednowymiarowa teoria przepływu przez wirnik może być stosowana do wirników śmigłowych o dużej liczbie łopatek, tworzących kanały międzyłopatkowe o stosunku długości profilu l do średniej szerokości a_{sr} kanału międzyłopatkowego (rys. 13.3)

$$l/a_{sr} \geq 2,5 \quad (13.7)$$

W pompach śmigłowych o małej wysokości podnoszenia, czyli o dużej szybkości, maleje liczba łopatek oraz zmniejsza się kąt łopatki na wypływie β_2 . Łopatki nie tworzą kanałów i zamiast przepływu względnego przez palisadę występuje opływ poszczególnych łopatek przez ciecz pompowaną. Stosowanie jednowymiarowej teorii nie daje zadowalających wyników. Uważając łopatki za płyty nośne, stosuje się teorię aerodynamiczną.

13.3. Teoria aerodynamiczna przepływu przez wirnik pompy śmigłowej

Teoria aerodynamiczna przepływu przez pompę śmigłową (p. 9.4) polega na przyjęciu wirnika i kierownicy za kaskady dwu palisad ruchomej i nieruchomej, złożonych z opływowych płyt nośnych o tak dobranych profilach aerodynamicznych, aby zapewnione było właściwe działanie pompy i uzyskanie wartości żądanych parametrów. Teoria aerodynamiczna pomp śmigłowych ujmuje następujące zagadnienia:

- kinematykę przepływu przez palisady łopatek wirnika i kierownicy,
- rozkłady sił występujących w palisadach,
- opracowanie i zastosowanie płyt nośnych o odpowiednim profilu na łopatki obu palisad.

Projektowanie wirnika na podstawie teorii aerodynamicznej polega więc na racjonalnym doborze odpowiedniego profilu łopatki, którego własności zostały doświadczalnie stwierdzone przez przodujące instytuty aerodynamiczne (NACA, Gidromasz, Göttingen i inne). Niektóre profile zostały pokazane na rys. w p. 2.2. Poszczególne metody projektowania wirnika, oparte na teorii aerodynamicznej, różnią się sposobem rozwiązania zagadnienia przepływu przez palisadę łopatek.

Najbardziej rozpowszechniona *metoda W. Bauersfelda* opiera się na badaniu opływu wokół pojedynczej łopatki i uwzględnieniu wzajemnego wpływu łopatek przy przepływie przez palisadę cylindryczną.

Metoda I. Wozniesieńskiego i W. Pekina, stosowana głównie w ZSRR, polega na przeniesieniu badań palisady prostoliniowej, utworzonej przez cienkie łopatki o przekrojach w kształcie łuków kołowych, na palisadę cylindryczną utworzoną z łopatek o założonym profilu i szkieletowej łukowej, z uwzględnieniem wpływu skończonej grubości profilu na kąt ustawienia łopatek. Szczegółowy opis tej metody podaje literatura techniczna zagraniczna [3] oraz polska [9], która zawiera również przykład obliczeniowy.