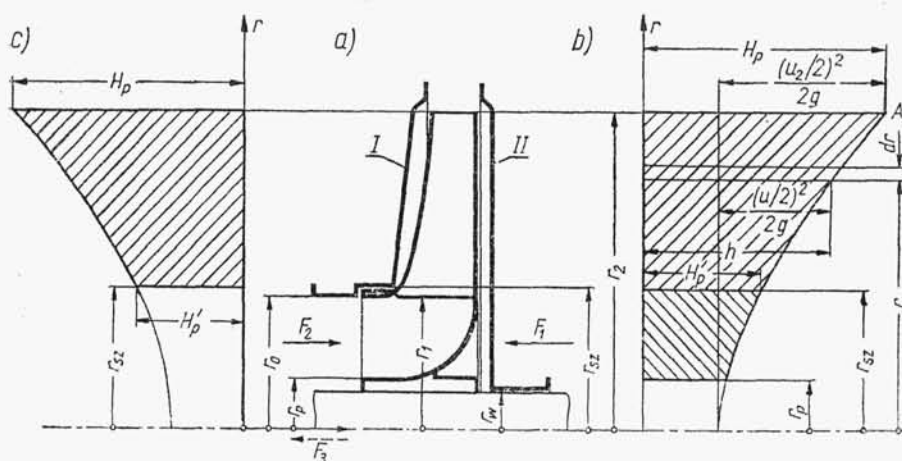


17.1. Napór osiowy

W zależności od rodzaju wirnika oraz od jego kształtu wystąpią w czasie jego pracy w pompie siły o kierunku osiowym, pochodzące od oddziaływania cieczy na wirnik. Jedynie w wirniku dwustrumieniowym odśrodkowym lub helikoidalnym występujące w obu jego częściach (wirnikach jednostrumieniowych) siły osiowe równoważą się prawie całkowicie w obrębie wirnika jako siły wewnętrzne.

17.1.1. Napór osiowy w pompie odśrodkowej o pojedynczej krzyżźnie łopatek

Rozpatrzmy schemat jednostopniowej pompy odśrodkowej przedstawionej na rys. 17.1. U wylotu wirnika panuje ciśnienie statyczne H_p . Z dostatecznym przybliżeniem można przyjąć, że ciśnienie to rozchodzi się równomiernie do przestrzeni I i II po obu stronach wirnika. Jednocześnie w przestrzeniach tych, dzięki oddziaływaniu wirnika i lepkości cieczy, ciecz wiruje. Przyjmuje się, iż przy ścianie wirnika ciecz wiruje z prędkością kątową ω równą prędkości wirnika, natomiast przy ścianie



Rys. 17.1. Rozkład ciśnień po obu stronach jednostrumieniowego wirnika pompy odśrodkowej

kadłuba prędkość wirowania cieczy równa się zeru. Zatem średnia prędkość wirowania cieczy jest równa $\omega/2$.

W wyniku wirowania cieczy wystąpi w niej przyrost ciśnienia, gdyż jest to ruch okrężny wymuszony o powierzchni rozkładu w kształcie paraboloidy obrotowej. Rzeczywisty rozkład ciśnienia w przestrzeniach *I, II* będzie zatem sumą algebraiczną obu ciśnień, z tym, że w punkcie *A* wykresy ciśnień przetną się (rys. 17.1b). Wysokość ciśnienia na dowolnym promieniu *r* określimy z zależności

$$h = H_p - \frac{(u_2/2)^2 - (u/2)^2}{2g} = H_p - \frac{\omega^2}{8g} (r_2^2 - r^2) \quad (17.1)$$

gdzie u_2 — prędkość obwodowa wirnika na średnicy d_2 , u — prędkość obwodowa na promieniu r .

Ze względu na jednakowy rozkład ciśnień po obu stronach wirnika siły działające na pola między promieniami r_{sz} i r_2 (z obu stron wirnika) równoważą się. Pozostaje natomiast siła działająca na tylną ścianę wirnika, na pole o promieniach od r_w do r_{sz} , którą możemy obliczyć za pomocą wzoru

$$F_1 = \int_{r_w}^{r_{sz}} 2\pi r dr \gamma h = 2\pi \gamma \int_{r_w}^{r_{sz}} r dr \left[H_p - \frac{\omega^2}{8g} (r_2^2 - r^2) \right] \quad (17.2)$$

Po scałkowaniu i redukcji wyrazów podobnych otrzymujemy

$$\begin{aligned} F_1 &= \pi \gamma (r_{sz}^2 - r_w^2) \left[H_p - \left(r_2^2 - \frac{r_{sz}^2 + r_w^2}{2} \right) \frac{\omega^2}{8g} \right] = \\ &= \gamma (A_{sz} - A_w) \left[H_p - \frac{1}{8} \left(\frac{u_2^2}{g} - \frac{u_{sz}^2 + u_w^2}{2g} \right) \right] \end{aligned} \quad (17.3)$$

gdzie: A_{sz} — pole przekroju tylnej ściany wirnika o promieniu r_{sz} , A_w — pole przekroju wału w dławnicy.

Ciśnienie statyczne określamy za pomocą przybliżonego wzoru

$$H_p \approx \eta'_h H_{th} \left(1 - \frac{g H_{th}}{2 u_2^2} \right) \quad (17.4)$$

Współczynnik sprawności hydraulicznej wirnika η'_h jest większy niż sprawność hydrauliczna pompy. Przyjmuje się zależność

$$\eta'_h \approx \frac{1 + \eta_h}{2} \quad (17.5)$$

Siła F_1 jest zwrócona w kierunku wlotu na wirnik (kierunek przeciwny dopływowi wody do wirnika).

Na skutek zmiany kierunku przepływu cieczy z osiowego na promieniowy (w pompach odśrodkowych zmiana kierunku wynosi 90°) wystąpi na wirniku siła reakcji F_2 , działająca w kierunku przeciwnym do F_1

$$F_2 = \frac{\gamma}{g} Q' c_0 \quad (17.6)$$

W przypadku wirnika osadzonego na końcu wału wystąpi trzecia siła F_3 działająca na przekrój wału

$$F_3 = (p_b - p_0) A_w \quad (17.7)$$

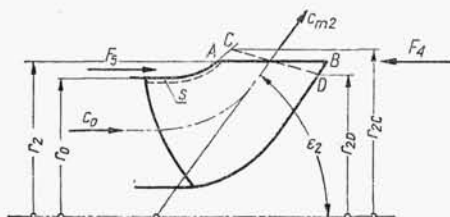
gdzie: p_b — ciśnienie atmosferyczne, p_0 — ciśnienie bezwzględne na wlocie wirnika.

Przy pracy pompy na wodę zimną ze ssaniem kierunek siły F_3 jest zgodny z kierunkiem F_1 . Siła ta jest zresztą bardzo mała i może być pominięta. Przy pracy pompy z napływem wszystkie pompy do wody gorącej i mającej nadciśnienie na wlocie, siła F_3 ma kierunek przeciwny do siły F_1 (wynik obliczenia wg wzoru (17.7) będzie ujemny) i może osiągnąć znaczną wartość. Wypadkowa siła osiowa będzie sumą algebraiczną sił

$$F = F_1 - F_2 + F_3 \quad (17.8)$$

17.1.2. Napór osiowy w wirnikach o przestrzennej krzywiznie łopatek

Przy rozpatrywaniu wirników pomp odśrodkowych o przestrzennej krzywiznie łopatek, lecz o wypływie promieniowym (wielobok prędkości na wypływie z wirnika leży w płaszczyźnie prostopadłej do osi wału), rozumowanie jest identyczne jak w przypadku pomp odśrodkowych o pojedynczej krzywiznie łopatek; obowiązują te same zależności.



Rys. 17.2
Dodatkowe napory osiowe w wirniku pomp
helikoidalnej i diagonalnej

W wirnikach pomp helikoidalnych i diagonalnych o krawędzi wylotowej równoległej do osi obrotu (rys. 17.2 krawędź AB), ale o liniach prądu na wylotie pochylonych względem osi obrotu o kąt $\varepsilon_2 < 90^\circ$ (czyli wielobok prędkości na wypływie leży w płaszczyźnie ukośnej względem osi) zmienia się wartość siły F_2 , którą należy obliczyć z zależności

$$F_2 = \frac{\gamma Q'}{g} (c_0 - c_{m2} \cos \varepsilon_2) \quad (17.9)$$

W przypadku ukośnej krawędzi wylotowej (rys. 17.2, krawędź CD) na rzut osiowy powierzchni

$$A_{02} = \pi (r_{2c}^2 - r_{2D}^2) \quad (17.10)$$

działa ciśnienie statyczne H_p , w wyniku czego otrzymamy siłę F_4 o kierunku zgodnym z siłą F_1

$$F_4 = \gamma H_p A_{02} = \pi \gamma H_p (r_{2c}^2 - r_{2D}^2) \quad (17.11)$$

przy czym wysokość ciśnienia H_p ma wartość średnią — dla środkowej linii prądu.

W wirnikach otwartych (bez przedniej ściany) występuje napór osiowy F_5 o kierunku przeciwnym do F_1 , wynikający z działania ciśnienia w szczelinie s na otwartą powierzchnię wirnika. Określony jest on przybliżonym wzorem

$$F_5 = \pi \gamma H_p' (r_{2c}^2 - r_0^2) \quad (17.12)$$

gdzie H_p' — pewna średnia wartość mniejsza od wysokości ciśnienia H_p na wylocie z wirnika.

W celu dokładnego obliczenia tej siły należałoby znać rozkład ciśnienia w szczelinie i przeprowadzić całkowanie.

17.1.3. Napór osiowy na wirnik w pompie śmigłowej

Przy wstępnych obliczeniach można przyjąć, iż na rzut osiowy czynnej powierzchni wirnika działa napór osiowy, wynikający z wysokości podnoszenia pompy, o kierunku przeciwnym do kierunku przepływu

$$F_1 = \pi (r_z^2 - r_p^2) \gamma \frac{H}{\eta_h} \quad (17.13)$$

Ponieważ przyjęto we wzorze całkowitą wysokość podnoszenia, a nie wysokość statyczną $H_p < H$, więc wg wzoru otrzymuje się wyniki większe od rzeczywistych.

Ciśnienie statyczne wirnika

$$H_p = H - \frac{c_{u3}^2 - c_{u1}^2}{2g} \eta_h \quad (17.14)$$

Podstawiając do wzoru (17.14) zależności

$$c_{u3} - c_{u1} = \frac{g H_{th}}{r \omega} \quad \text{oraz} \quad H = H_{th} \eta_h$$

otrzymamy po przekształceniu

$$H_p = \left(1 - \frac{g H_{th} + 2 r_{1c} c_{u1}}{2 r^2 \omega^2} \right) H \quad (17.15)$$

Przy swobodnym dopływie do wirnika $c_{u1} = 0$, więc wzór (17.15) przyjmie prostszą postać

$$H_p = \left(1 - \frac{g H_{th}}{2 r^2 \omega^2} \right) H \quad (17.16)$$

Przy zmiennej wartości H_p wzdłuż promienia, siłę F_1 wyznaczymy za pomocą całkowania

$$F_1 = \int_{r_p}^{r_z} \gamma H_p 2\pi r dr = 2\pi \gamma \int_{r_p}^{r_z} \left(1 - \frac{g H_{th}}{2 r^2 \omega^2} \right) H r dr \quad (17.17)$$

Wartość H_p przyjęto z równania (17.16).

Po scałkowaniu otrzymamy

$$F_1 = \pi \gamma H \left(r_z^2 - r_p^2 - \frac{1}{\omega^2} g H_{th} \ln \frac{r_z}{r_p} \right) \quad (17.18)$$

Występuje ponadto napór osiowy spowodowany działaniem wysokości ciśnienia statycznego na rzut powierzchni pierścieniowej między piastą a wałem wirnika o kierunku zgodnym z działaniem siły F_1

$$F_2 = \frac{\pi}{4} (r_p^2 - r_w^2) \gamma H'_p \quad (17.19)$$

gdzie H'_p — ciśnienie przy piastcie wyznaczamy wg wzoru (17.16) podstawiając $r = r_p$.

Można też z dostateczną dokładnością uwzględnić działanie naporu F_2 w obliczeniu siły F_1 (wzory (17.17) i (17.18)) rozciągając całkowanie w granicach od r_w do r_2 . Wtedy wzór (17.18) przyjmie postać

$$F_{1+2} = \pi \gamma H \left(r_z^2 - r_w^2 - \frac{1}{\omega^2} g H_{th} \ln \frac{r_z}{r_w} \right) \quad (17.20)$$

Przy dokładnych obliczeniach należy ponadto obliczyć napór osiowy, spowodowany różnicą ciśnienia atmosferycznego p_b i ciśnienia p_0 w przekroju ssawnym pompy, działający na powierzchnię czołową końca wału (jak na rys. 13.4)

$$F_3 = \frac{\pi}{4} d_w^2 (p_b - p_0) \quad (17.21a)$$

Całkowity napór osiowy w pompie śmigłowej jest równy sumie lub różnicy

$$F = F_{1+2} + F_3 \quad (17.21b)$$

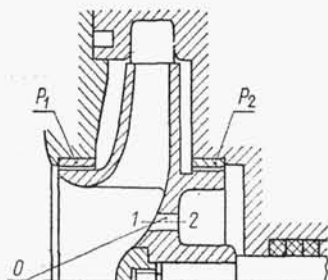
Napór F_3 , jako bardzo mały, jest zwykle pomijany w obliczeniach.

17.2. Równoważenie naporu osiowego

Równoważenie naporu osiowego stosuje się w pompach odśrodkowych diagonalnych i helikoidalnych. Istnieje kilka sposobów równoważenia, z których przedstawimy najczęściej spotykane.

17.2.1. Otwory odciążające

Wirnik pompy (rys. 17.3) ma powierzchnie cylindryczne współpracujące z dwoma pierścieniami uszczelniającymi P_1 i P_2 . Napór na powierzchnie boczne wirnika, między promieniem r_2 a promieniem szczelin r_{sz} , równoważy się. W celu wyrównania ciśnienia w przestrzeniach 1 i 2 stosuje się otwory O o liczbie łopatek i średnicy



Rys. 17.3

Wirnik z otworami odciążającymi stosowanymi dla zrównoważenia naporu osiowego