skąd

$$h_2' = \frac{90}{26}\sqrt[3]{\frac{32}{36}} = 3,34;$$

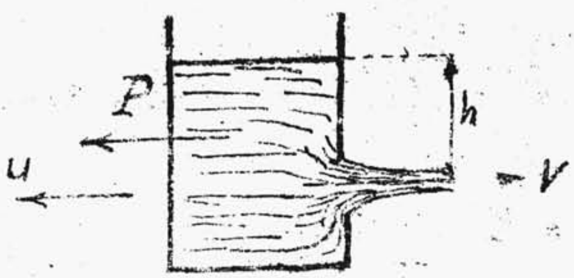
Analogicznie

$$h_2'' = \frac{90}{26}\sqrt[3]{\frac{32,68}{36}} = 3,35; \qquad h_2''' = \frac{90}{26}\sqrt[3]{\frac{32,70}{36}} = 3,35;$$

§34. DZIAŁANIE SWOBODNYCH STRUMIENI CIECZY DOSKONAŁEJ.

1. Reakcja strumienia. Jeżeli w bocznej ścianie naczynia wypełnionego cieczą /rys.99/ wykonamy otwór lub damy otwartą przystawkę, to podczas wypływu naczynie takie podlegać będzie reakcji P ze strony cieczy. Reakcję tę łatwo wyliczyć na podstawie zasady ilości ruchu. Oznaczając mianowicie wydatek objętościowy cieczy przez Q, zaś przekrój promienia przez F, możemy napisać, iż

$$P = \frac{Q\gamma v}{g}$$



RYS. 99.

Wstawiając wartość wydatku w zależności od wielkości i przekroju

$$Q = Fv$$

otrzymamy

$$P = \frac{v^2\gamma F}{g}$$

skąd reakcja przypadająca na jednostkę przekroju strumienia wyniesie

$$P/F = \frac{v^2\gamma}{g} = 2gh;$$

gdzie przez h oznaczyliśmy wysokość prędkości równą

$$v^2/2g$$

Rozwiązanie powyższe cokolwiek się zmieni, gdy założymy, że i naczynie jest w ruchu, posiadając szybkość u równoległą do P. Rozumując analogicznie, jak powyżej, możemy napisać, iż reakcja

$$P = \frac{Q\gamma(v-u)}{g} = \frac{F\gamma v(v-u)}{g};$$

Wobec tego moc użyteczna takiego układu jest

$$E_u = \frac{Q\gamma u(v-u)}{g} = Pu$$

osiągając maksymalną wartość

$$E_{max} = \frac{Q\gamma v^2}{4g}; \qquad \text{przy} \quad \frac{\partial E_u}{\partial u} = 0;$$

t.j. dla $u = v/2$. A ponieważ moc całkowita cieczy wynosi

$$E_c = Qh\gamma = \frac{Q\gamma v^2}{2g};$$

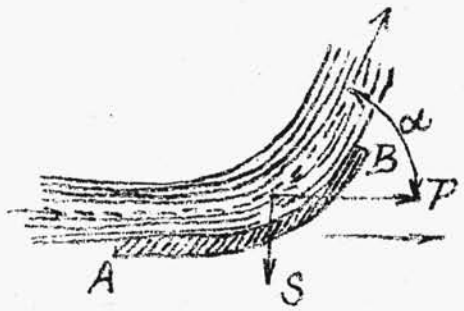
więc największa wartość skutku użytecznego takiego motoru jest

$$\eta_{max} = 1/2;$$

W wypadku ogólnym natomiast jest

$$\eta = 2\frac{u(v-u)}{v^2};$$

2. Reakcja przy zmianie kierunku szybkości na nieruchomych powierzchniach krzywych /rys.100/.



Rys. 100

Jeżeli powierzchnia cylindryczna zmienia kierunek szybkości V przepływającej cieczy, bez zmiany wielkości tej szybkości, wówczas oddziaływanie cieczy na powierzchnię musi mieć 2 składowe, stosownie do składowych zaginionej ilości ruchu. Mianowicie

$$P = \frac{Q\gamma v}{g}\left(1-\cos\alpha\right)$$

zaś

$$S = \frac{Q\gamma v}{g}\sin\alpha,$$

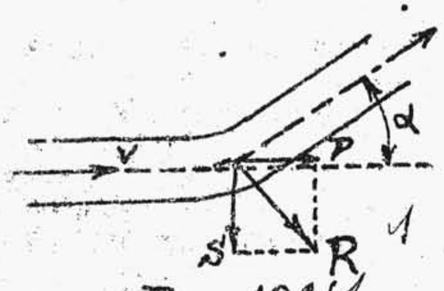
W szczególnym przypadku dla $\alpha = \pi/2$ jest $P = S = \frac{Q\gamma v}{g}$, przyczem całkowita reakcja wyniesie $\frac{Q\gamma v}{g}\sqrt{2}$. Natomiast dla $\alpha = \pi$ jest $S = 0$ zaś

$$P = \frac{2Q\gamma v}{g} = \frac{2F\gamma v^2}{g};$$

przyczem na jednostkę powierzchni strumienia wypada reakcja

$$P/F = 4\gamma h \qquad \text{gdzie} \qquad h = v^2/2g$$

3. Oddziaływanie cieczy na kolano przewodu /r.101/.



Rys. 101.

Gdy ciecz przepływa przez zagięte pod kątem /rys.101/ kolano przewodu o stałym przekroju, wówczas, postępując jak wyżej, znajdziemy łatwo, iż wypadkowa

$$\sqrt{P^2+S^2}=\frac{2\gamma Qv}{g}\sin\frac{\alpha}{2};$$

przyczem kierunek jej ze względu na symetrję musi się nakrywać z kierunkiem dwusiecznej zewnętrznej kąta α.

4. Oddziaływanie cieczy na ruchomą powierzchnię krzywą /rys.102/.

Przypuśćmy, iż mamy wypadek przepływu, analogiczny do rozpatrywanego już przez nas pod punktem 2, lecz powierzchnia AB posiada ruch unoszenia o szybkości u, równoległej do składowej P. Wówczas, stosując zasadę ilości ruchu znajdziemy bezpośrednio:

$$P=\frac{Q\gamma(v-u)(1-\cos\alpha)}{g};$$

zaś moc użyteczna

$$E=\frac{Q\gamma(v-u)u(1-\cos\alpha)}{g};$$

Jeżeli strumień działa stale na jedną i tę samą powierzchnię, to wydatek $Q=(v-u)F$. Gdy natomiast coraz to inna powierzchnia podlega działaniu strumienia cieczy w taki sposób, że różne powierzchnie zajmują po kolei te same położenie, wówczas $Q = vF$. Zauważmy wreszcie, iż w szczególnym przypadku $\alpha = \pi$, gdy ruchoma powierzchnia o 180° odchyla strumień cieczy, jest moc użyteczna

$$E_u = \frac{2Q\gamma(v-u)u}{g}$$

Wówczas wartości

$$E_{max} = \frac{Q\gamma v^2}{2g} = Q\gamma h;$$

odpowiada skutek użyteczny $\eta_{max} = 1$. Praktycznie spotykamy się z tego rodzaju odchyleniem strumienia w t.zw. kole Pelton'a, dla którego jednak $\eta = 0,8$, a to głównie ze względu na straty, zachodzące podczas podsuwania po szczególnych powierzchni czyli łopatek pod działanie strumienia.

5. Działanie strumienia na płaszczyznę /rys.102/.

Jeżeli wpoprzek strumienia umieścimy płaszczyznę pod kątem α , wówczas ciecz doskonała powinna wywrzeć na tę płaszczyznę

Rys. 102.

tylko pewną reakcję normalną N. Rozważając zmianę ilości ruchu cieczy, łatwo znajdziemy

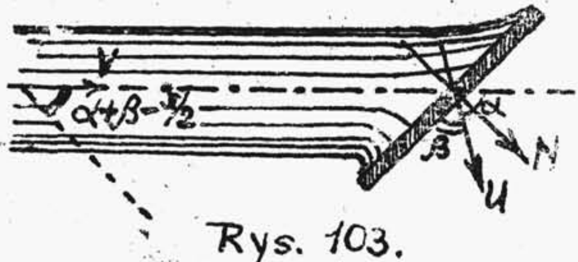
$$N = \frac{Q\gamma v \sin\alpha}{g};$$

Gdyby natomiast płaszczyzna znajdowała się w nieograniczonej cieczy, otrzymamy cokolwiek inne wyniki, ze względu na to, iż zmiany ilości ruchu poszczególnych strug cieczy są różne. Omijamy tu trudności teoretyczne przez wprowadzenie praktycznego spółczynnika k tak, iż w tym razie:

$$N = k\frac{Q\gamma v \sin\alpha}{g};$$

6. Działanie strumienia na płaszczyznę ruchomą.

/rys. 103/.



Rys. 103.

Gdy płaszczyzna porusza się z szybkością u, wówczas oddziaływanie strumienia jest również normalne do płaszczyzny. Stosując zasady ilości ruchu, znajdziemy łatwo normalną składową oddziaływania strumienia

$$N = \frac{Q\gamma}{g}\left[v\sin(\alpha+\beta) - u\sin\beta\right];$$

Natomiast w kierunku ruchu unoszenia płaszczyzny jest składowa reakcji

$$P_u = N \sin\beta = \frac{Qv}{g}\left[v \sin(\alpha+\beta) - u \sin\beta\right] \sin\beta;$$

A ponieważ wydatek

$$Q = F\left[v \sin(\alpha+\beta) - u \sin\beta\right];$$

więc

$$P_u = \frac{F\gamma}{g}\left[v \sin(\alpha+\beta) - u \sin\beta\right]^2 \sin\beta;$$

Rachunek ten, jak to było zaznaczone powyżej, jest o tyle nieścisły w wypadku płaszczyzny poruszającej się w cieczy nieograniczonej, iż zmiany ilości ruchu poszczególnych strug cieczy nie są jednakowe, ze względu na różnice kształtu prędkości poszczególnych strug.

Wprowadzając przeto spółczynnik empiryczny k możemy założyć, iż

$$P_u = k\frac{F\gamma}{g}\left[v \sin(\alpha+\beta) - u \sin\beta\right]^2 \sin\beta;$$

gdzie wartość k jest mniej więcej stała dla danej płaszczyzny. Zauważmy, iż wartości P_u = maximum odpowiada wartość $\hat{\beta}$ określona równaniem

$$\frac{\partial P_u}{\partial\beta} = 2\left[v \sin(\alpha+\beta) - u \sin\beta\right]\left[v \cos(\alpha+\beta) - u \cos\beta\right] \sin\beta +$$

$$+\left[v \sin(\alpha+\beta) - u \sin\beta\right]^2 \cos\beta = 0;$$

albo

$$2 v \sin\alpha \operatorname{Tng}^2\beta + 3(u - v \cos\alpha) \operatorname{Tng}\beta - v \sin\alpha = 0;$$

Otrzymaliśmy w ten sposób kwadratowe równanie względem $Tng\,\alpha$, którego 2 pierwiastki odpowiadają dwu kierunkom ustawienia płaszczyzny, dającym P_u maximum przy ruchu naprzód i wstecz. Zagadnienie to pozwala np. odpowiednio nastawić żagiel, aby oddziaływanie wiatru było największe. Z podobnem zagadnieniem spotykamy się i w teorji wiatraków, wyliczając najdogodniejszy β pochylenia skrzydeł. W tym jednak wypadku jest $\alpha = \pi/2$ zaś szybkość linjowa poszczególnych punktów $u = \omega r$ gdzie ω - jest szybkością kątową, zaś r - promieniem wodzącym rozważanego elementu śmigi wiatraka. Wówczas równanie /1/ się uprości w następujący sposób:

$$2v\,Tng^2\beta + 3u\,Tng\,\beta - v = 0;$$

skąd łatwo znajdziemy odpowiednią wartość

$$P_u = k\,\frac{F\gamma}{g}(v\,Cos\,\beta - u\,Sin\,\beta)^2\,Sin\,\beta;$$

Kładąc, że między szybkością wiatru a szybkością kątową wiatraka zachodzi związek proporcjonalności, t.j. $v = a\omega$, gdzie a oznacza pewną wielkość stałą dla danego wiatraka, uprościmy jeszcze bardziej powyższe kwadratowe równanie tak, iż

$$2a\,Tng^2\beta + 3r\,Tng\,\beta - a = 0$$

skąd

$$Tng\,\beta = -\frac{3}{4}\frac{r}{a} \pm \sqrt{\frac{9}{16}\frac{r^2}{a^2} + \frac{1}{2}}\;;$$

Wprowadzając dla poszczególnych pasków skrzydeł wiatraka kąt ϑ, pod którym widać je ze środka, łatwo znajdziemy moc przekazywaną zapomocą elementarnego paska, gdyż

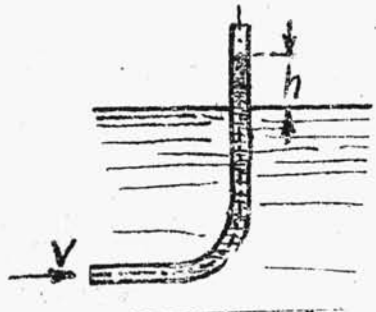
$$dE = \frac{k\,dF\gamma}{g}\left[v\cos\beta - u\sin\beta\right]^2 \sin\beta \cdot u = \frac{k\vartheta\gamma\, r\,dr}{g}\cdot$$

$$\cdot\left[v\cos\beta - u\sin\beta\right]^2 \sin\beta\,\omega r = \frac{k\vartheta\gamma\,\omega^3 r^2}{g}\left(a\cos\beta - r\sin\beta\right)^2\cdot$$
$$\cdot\sin\beta\cdot dr;$$

Podstawiając do powyższego wzoru poprzednio znalezioną wartość β, możemy łatwo znaleźć kształt skrzydła. Praktycznie bierzemy zwykle $\vartheta = c/r$ lub ϑ = const. ze względu na łatwość wykonania skrzydeł w powyższych warunkach. Propellery statków lub skrzydła aeroplanów dają odwrócenie powyższego zagadnienia, gdyż można wówczas uważać, iż szybkość ośrodka wynosi $v = \omega r$, zaś śmigło porusza się postępowo o szybkości u, przyczem i tutaj $\alpha = \pi/2$.

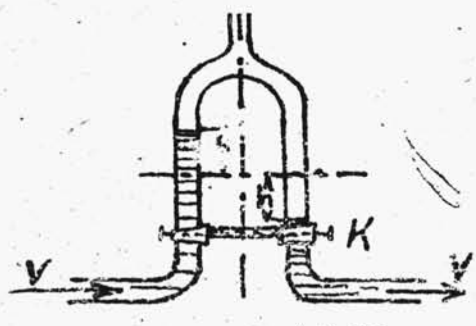
§35. POMIARY SZYBKOŚCI CIECZY.

Przy wyznaczaniu przybliżonem szybkości cieczy w rzekach i kanałach wystarcza niekiedy stosowanie odpowiednich pływaczków, które przy odpowiedniem ustosunkowaniu ciężaru właściwego pływaka do ciężaru właściwego cieczy mogą płynąć na lub częściowo pod powierzchnią cieczy. Z przyrządów bardziej dokładnych wymienimy rurkę Pitot'a i młynek Woltmann'a. Jeżeli mianowicie zanurzymy do cieczy prostokątnie zagiętą rurkę /rys.104/, wówczas upływająca ciecz wywoła w rurze podniesienie się poziomu cieczy o wysokość h



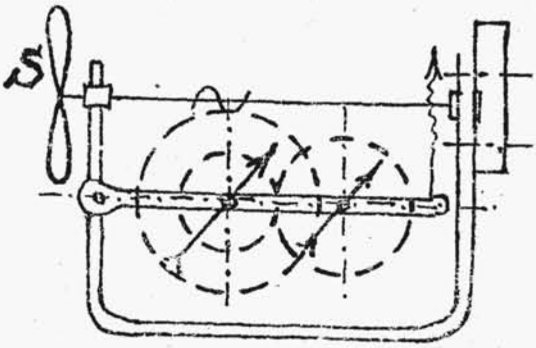
Rys. 104.

która pozostaje proporcjonalna do kwadratu szybkości cieczy, przyczem spółczynnik należy określić doświadczalnie. Pomiar jest tu niezawsze możliwy, więc stosujemy często połączone rurki Pitot'a /rys.105/, skierowane jedna wzdłuż kierunku, druga w kierunku przeciwnym do wektora szybkości. Zapomocą zamknięcia kurka k unieruchamiamy ciecz w ramionach rurki i, mierząc już wówczas dokładnie różnicę poziomów cieczy w wyjętej rurce, łatwo obliczymy szukaną wysokość h. Bardziej dokładny jest młynek Woltmanna /r.106/,



Rys. 105

którego konstrukcja jest zbliżona do konstrukcji



Rys. 106.

anemometrów, przyczem śmigło S porusza się jakby w ciekłej nakrętce. Zapomocą ślimaka przekazujemy ruch układowi kółek zębatych, stanowiących licznik, który pozwala zmierzyć ilość n obrotów na sekundę, przyczem szybkość cieczy $v = nh + m$, gdzie h oznacza skok śmigła, zaś m jest dla danego mechanizmu stałą, oznaczającą tę prędkość cieczy, przy której śmigło pozostaje jeszcze w spoczynku. Licznik urządzony jest w ten sposób, iż zapomocą pociągnięcia sznurów lub łańcuszka może być połączony lub rozłączony ze stale obracającym się ślimakiem. Cały przyrząd jest przymocowany do długiego pręta i zanurzony w cieczy, której prędkość ma być zmierzona.