

zmniejszając wydajność, a w granicznym przypadku uniemożliwiające pracę, zaś w pompach wirowych wydzielające się pęcherze gazowe w rurze ssawnej również zmniejszają wydajność, a nawet mogą doprowadzić do przerwania przepływu (zasysania) cieczy.

W obliczeniach pomp pomija się często, dla prostoty obliczania, niektóre właściwości cieczy, zakładając przepływ cieczy doskonałej, tzn. nieściśliwej, nielepkiej i niepodlegającej rozszerzalności. Wpływy te uwzględnia się dopiero w końcowej fazie obliczeń.

2.1. Zjawiska przepływu cieczy

2.1.1. Warunek ciągłości przepływu

W jednowymiarowym, czyli równoległym ruchu ustalonym cieczy doskonałej (tzn. takim, w którym prędkość przepływu zależy tylko od jednego wymiaru — odległości liczonej wzdłuż osi strugi) *warunek ciągłości przepływu* można wyrazić równaniem

$$Av = \text{const} = Q \quad (2.1)$$

gdzie: A — przekrój strugi, v — średnia prędkość przepływu w całym przekroju A , Q — natężenie przepływu strugi.

Z równania ciągłości wynikają dwa ważne wnioski:

- w przepływie cieczy nieściśliwej prędkość w kierunku przepływu jest odwrotnie proporcjonalna do przekroju strugi $v = \text{const}/A$,
- ponieważ prędkość nie może być nieskończenie wielka, więc zgodnie z zależnością $A = \text{const}/v$ przekrój strugi nie może być równy zero, czyli struga nie może w pewnej chwili zaniknąć.

Równanie ciągłości znajduje duże zastosowanie w obliczeniach pomp i układów pompowych.

Równanie ciągłości dla cieczy nieściśliwej obowiązuje również dla kilku strug ze sobą połączonych, np. jeśli struga o przekroju A rozdziela się na wiele strug o przekrojach A_1, A_2, \dots, A_n , w których średnie prędkości wynoszą v_1, v_2, \dots, v_n , lub jeżeli wiele strug o wymienionych parametrach łączy się w jedną, to

$$Av = A_1v_1 + A_2v_2 + \dots + A_nv_n = \sum A_iv_i \quad (2.2)$$

2.1.2. Twierdzenie Bernoulliego dla cieczy doskonałej

Odniesiona do jednostki masy *energia płynącej cieczy* wynosi

$$E_I = gz + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (2.3)$$

Dzieląc równanie (2.3) przez normalne przyspieszenie ziemskie $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$, otrzymamy

$$\frac{g}{g_n} z + \frac{p}{\gamma_n} + \frac{v^2}{2g_n} = \frac{E_I}{g_n} = H_n \quad (2.4)$$

gdyż między jednostkową energią E_I i normalną wysokością rozporządzalną H_n występuje zależność

$$E_I = g_n H_n$$

Wielkość p/γ_n jest nazywana *normalną wysokością ciśnienia*, wyrażenie $v^2/2g_n$ — *normalną wysokością prędkości*, zaś z — *wysokością położenia*.

Sumę

$$H_n = \frac{g}{g_n} z + \frac{p}{\gamma_n} + \frac{v^2}{2g_n} \quad (2.5)$$

nazywamy *normalną wysokością rozporządzalną w rozpatrywanym punkcie cieczy*.

W jednorodnym polu ciężkości Ziemi ($g_n = g$) równanie (2.5) przybiera postać

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{const} \quad (2.6)$$

Wielkość p/γ nazywamy *wysokością ciśnienia*, a $v^2/2g$ — *wysokością prędkości*.

Jest to analityczna postać twierdzenia Bernoulliego, które mówi, iż w bezwzględnym ruchu ustalonym cieczy doskonale, w układzie odosobnionym, w jednorodnym polu sił ciężkości, suma wysokości położenia, wysokości ciśnienia i wysokości prędkości jest w każdym punkcie tej samej strugi stała.

Różniczkując równanie (2.6) otrzymamy nową zależność

$$dz + \frac{dp}{\gamma} + \frac{v dv}{g} = 0 \quad (2.7)$$

którą można wyrazić słownie, tzn. że w ruchu określonym równaniem Bernoulliego suma przyrostów cząstkowych wysokości położenia, ciśnienia i prędkości równa się zeru.

Wyrażenie

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.8)$$

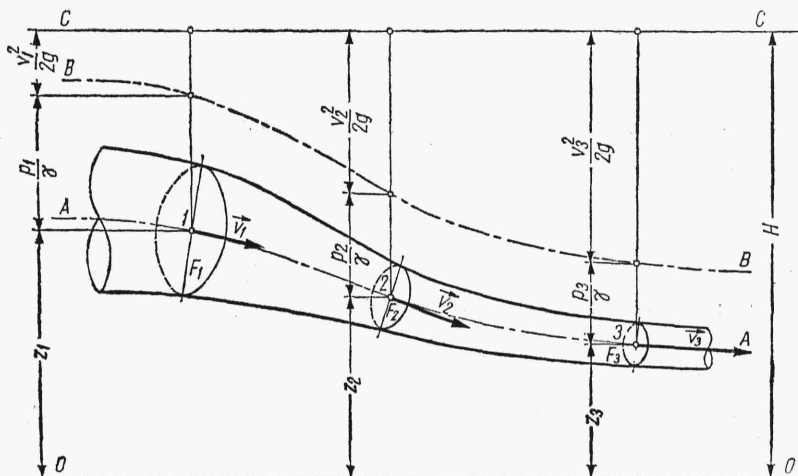
nazywa się *wysokością hydrauliczną (rozporządzalną) cząstki cieczy w danym punkcie Ziemi*.

Rozpatrując dwa dowolne przekroje 1 i 2 jednej strugi (rys. 2.1), równanie Bernoulliego możemy napisać w postaci

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.9)$$

lub w postaci energetycznej

$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} = \text{const} \quad (2.10)$$



Rys. 2.1. Energia cieczy doskonałej w ruchu ustalonym cieczy

Równanie (2.9) można wyrazić słowami: *przy ruchu ustalonym cieczy doskonałej, poddanej działaniu sił zachowawczych, całkowita energia jednostki masy jest w każdym punkcie jednej i tej samej strugi stała* [17].

Przy przepływie przez wirnik pompy wirowej, odbywającym się w jednorodnym polu sił ciężkości, w odniesieniu do ruchu względnego z prędkością ω względem wirnika (obracającego się ze stałą prędkością kątową ω) twierdzenie Bernoulliego przyjmie postać

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} - \frac{r^2 \omega^2}{2g} = \text{const} \quad (2.11)$$

czyli suma wysokości położenia, wysokości ciśnienia i wysokości prędkości względnej pomniejszona o wysokość potrzebną do wprowadzenia cieczy w ruch obrotowy jest wielkością stałą dla tej samej strugi.

We wzorze (2.11) r jest odległością cząsteczki cieczy, o prędkości względnej w , od osi wirnika.

2.1.3. Twierdzenie Bernoulliego dla cieczy rzeczywistej

Dla przepływu cieczy rzeczywistej równanie Bernoulliego (2.9) przyjmie postać

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p'_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h \quad (2.12)$$

gdzie Δh — wysokość strat przepływu na drodze od przekroju 1 do przekroju 2.

Oczywiste jest, że straty przepływu Δh zostają pokonane kosztem wysokości ciśnienia, stąd na podstawie równania (2.10) $p'_2 < p_2$.