

dopływającej wody jest odprowadzony do spustu 13, tak długo, dopóki pompy nie zostaną zatrzymane, lub dopóki nie będzie puszczona większa liczba mechanizmów.

Akumulatory są budowane na ciśnienie do 50 atm. Trafiają się i większe do 300, nawet do 1000 atmosfer ciśnienia.

### HYDRODYNAMIKA.

114. Dotychczas badaliśmy zachowanie się cieczy w spoczynku. Wyniki otrzymane w hydrostatyce odpowiadają ściśle temu, co obserwujemy w rzeczywistości. Powstaje to stąd, że, jakkolwiek nasze rozważania dotyczyły cieczy doskonałej, to różnica wyraźna między cieczą doskonałą a rzeczywistą ujawnia się dopiero podczas ruchu, kiedy występuje działanie lepkości. Ponieważ podczas spoczynku lepkość nie ma możliwości wystąpienia, dlatego też niema nic dziwnego, że wyniki hydrostatyki, oparte na badaniu cieczy doskonałej, znajdują zupełnie dokładne potwierdzenie w cieczach rzeczywistych.

Zupełnie inaczej się przedstawia sprawa, kiedy zaczniemy badać ciecz lub gazy, będące w ruchu, co właśnie jest treścią badania w

## h y d r o d y n a m i e .

Badania te są bardzo złożone. Do dziś wiele zagadnień jest zupełnie nie rozwiązanych, raz ze względu na trudność ujęcia zależności między właściwościami cieczy rzeczywistej, a jakimiś, bliżej nieokreślonymi, parametrami, następnie wobec trudności natury matematycznej, trudności do dziś nie wszędzie opanowanych.

Powyższe trudności nakazują przy badaniu ruchu cieczy wprowadzenie różnych uproszczeń, któreby ułatwiły rozważanie tych zagadnień.

Jedno z pierwszych założeń, jakie robimy, przystępując do badania cieczy względnie gazu w ruchu, będzie to, że również rozpatrywać będziemy ciecze i gazy doskonałe.

Coprawa takie założenie nie pozwala na to, aby wyniki, oparte na niem, znalazły bezpośrednio zastosowanie w praktyce. Jest to zupełnie zrozumiałe.

Dlatego też, pragnąc z wyników powyższych korzystać do celów praktycznych, wypadnie wyniki te poprawić, porównyując je z rezultatami rzeczywistymi, przez wprowadzenie różnych współczynników praktycznych, dostosowanych do poszczególnych przypadków.

Powyższą drogą idąc, możemy dla bardzo trudnych

nieraz zagadnień znaleźć proste i prędkie rozwiązanie, przydatne do wymagań praktycznych. Wypadnie tylko być bardzo ostrożnym przy rozszerzaniu zakresu zastosowalności otrzymanych rezultatów.

115. Przystępując do badania cieczy, będącej w ruchu, zajmiemy się na początku kilkoma określeniami, z którymi spotykać się będziemy w hydraulice /hydrodynamice praktycznej/.

Niech będzie jakiekolwiek naczynie, przez które płynie ciecz. Obierzmy dowolny punkt w naczyniu. Przez ten punkt w obranym momencie przepływa cząstka cieczy. Za chwilę ta cząstka znajdzie się w sąsiednim bardzo bliskim do poprzedniego punkcie. - Zauważmy ten punkt. Śledźmy cząstkę dalej. W następnym momencie cząstka ta przejdzie na nowe miejsce i t.d. Połączmy w myśli punkty powyższe; otrzymamy t.zw. l i n j ę p r ą d u. Styczne do linii p r ą d u będą kierunkami prędkości w różnych punktach.

Obserwując jedną, dwie i więcej linii prądu, przekonamy się, że mogą tu zajść dwa przypadki. - Jeden - kiedy linia prądu jest stałą, niezmienną linią w przestrzeni. Wtedy cząstki, które wchodzić będą na obserwowaną linię prądu, stale wzdłuż niej

będą płynąć, nie zmieniając wartości i kierunku prędkości i przyspieszeń. Kolejne cząstki podlegać będą takim samym, jak pierwsza cząstka, ciśnieniom, mimo iż w różnych miejscach linii prądu mogą być prędkości, przyspieszenia i ciśnienia różne. To samo dotyczy jakiegokolwiek innej linii prądu. Powiemy, że elementy ruchu zależą tylko od współrzędnych punktu, a nie od czasu. Analitycznie to się zaznaczy tem, że pochodne cząstkowe elementów ruchu: prędkości, przyspieszenia, ciśnienia względem czasu są zerami dla wszystkich punktów przestrzeni, wypełnionej płynącą cieczą. Ruch taki nazwiemy *ruchem trwałym*.

Ruch, który powyższymi warunkami nie czyni zadość, nazwiemy *ruchem nietrwałym*. Przy istnieniu ruchu nietrwałego linie prądu będą się co chwila zmieniać, zmieniając też miejsce w przestrzeni; elementy ruchu w obranym punkcie będą się zmieniać z biegiem czasu; będą więc funkcjami nie tylko współrzędnych punktu, lecz i czasu. Pochodne cząstkowe prędkości, przyspieszenia, ciśnienia względem czasu teraz już zerami nie będą.

W technice ruch trwały jest obserwowany bardzo często. Ruch nietrwały zazwyczaj istnieje czas krót-

ki, przechodząc szybko w ruch trwały.

Wyobraźmy sobie w sąsiedztwie dowolnego punktu wewnątrz poruszającej się cieczy bardzo mały element pola  $df$ , prostopadły do kierunku prędkości w tem miejscu.

Przez każdy punkt obwodu półka  $df$  poprowadźmy linię prądu. W ten sposób utworzy się t.zw. elementarna struga cieczy, jakby cienka rurka, napełniona płynącą cieczą. Jeśli przez środek ciężkości półka  $df$  poprowadzimy linię prądu, otrzymamy oś strugi. Przekrojem strugi będzie pole jej przecięcia płaszczyzną prostopadłą do osi strugi w danem miejscu.

Ciecz doskonała, znajdująca się w ruchu, może być uważana, jako złożona ze strug elementarnych, z których jedna na drugą wywiera ciśnienie normalne.

Jeżeli mamy do czynienia z ruchem trwałym, wówczas strugi elementarne są stałe. Przy ruchu nietrwałym kształt strug ciągle się zmienia.

Cząstki cieczy nie mogą przepływać z jednej strugi do sąsiedniej.

Przyjmijmy, następnie, że ciecz całkowicie wypełnia przestrzeń, w której się porusza; wtedy

stąd wynika, że struga nie może się ani zaczynać ani kończyć wewnątrz cieczy, chyba, że struga tworzy jakgdyby pierścień zamknięty.

Wydatek danej strugi elementarnej nie ulega zmianie i w każdym przekroju danej strugi wydatek w jednostce czasu jest równy iloczynowi z prędkości przez pole przekroju strugi. Jest to warunek ciągłości cieczy.

116. W cieczy, będącej w ruchu, możemy wyobrazić sobie element dowolnej powierzchni. Jeśli ciecz z jednej strony tego elementu odrzucimy i zechcemy, aby pozostała ciecz poruszała się jak poprzednio, musimy zastąpić działanie cieczy odrzuconej odpowiednią siłą. Otrzymujemy zatem, że podczas ruchu cieczy winno istnieć ciśnienie, podobnie jak to mieliśmy w cieczy będącej w spoczynku.

Treść wewnętrzna ciśnienia w tym i tamtym przypadku jest jedna i ta sama. Mogą tu być tylko różnice co do wartości i nieraz kierunku ciśnienia.

Dla tego też należy odróżniać ciśnienie podczas spoczynku cieczy, t.zw. ciśnienie hydrostatyczne od ciśnienia cieczy podczas ruchu, od t.zw. ciśnienia hydrodynamicznego.

Podobnie, jak ciśnienie hydrostatyczne mierzyliśmy wysokością słupa tej czy innej cieczy, tak samo możemy ciśnienie hydrodynamiczne mierzyć albo podawać w wysokości słupa cieczy. Wysokość pierwszą nazywają często wysokością ciśnienia hydrostatycznego, drugą - wysokością ciśnienia hydrodynamicznego.

117. Ruch ciągły cieczy możemy rozważać w dwojaki sposób. Pierwszy sposób polega na tem, że obieramy pewną cząstkę cieczy i śledzimy ją podczas jej ruchu, badając tor, prędkość przyśpieszenie, ciśnienie w każdym miejscu na torze cząstki. Tę metodę stosował Lagrange /1736 - 1813/. Drugi sposób polega na tem: obieramy pewien stały punkt w przestrzeni, w której ruch cieczy zachodzi, i badamy prędkości,



przyspieszenia, ciśnienia, które posiadają różne cząstki, kolejno przybywające do obranego punktu. Tę metodę stosował Euler /1707 - 1783/.

Stosując pierwszą lub drugą metodę, otrzymamy ogólne równanie ruchu cieczy, na zasadzie których możemy dowodzić różnych twierdzeń i poznawać różne szczegóły ruchu cieczy.

Wyniki stąd otrzymane, jednak, na ogół w życiu praktycznym znajdują niewielkie zastosowanie. - Natomiast jest jedno ważne twierdzenie, które otrzymuje się z równań ogólnych ruchu i które ma bardzo szerokie zastosowanie w praktycznych zagadnieniach hydraulicznych. Twierdzenie to musimy poznać. Postaramy się sprawę wyłożyć metodą prostszą, idąc za Danielem Bernoulli'm bez korzystania z ogólnych równań ruchu.

118. T w i e r d z e n i e    D a n i e l a  
B e r n o u l l i ' e g o /1700 - 1782/.

Niech ciecz ciężka doskonała będzie w ruchu. Niech to będzie ruch ciągły i żrwy. Obierzmy wewnątrz cieczy prasy dowolnym punkcie pole elementarne prostopadłe do prędkości w tem miejscu. Przez wszystkie punkty ob-