

Z tych nierówności możemy przyjąć, że nie popełnimy znaczniejszej omyłki, jeśli przyjmiemy że

$$Q = 0,55 Q_0 + Q_0$$

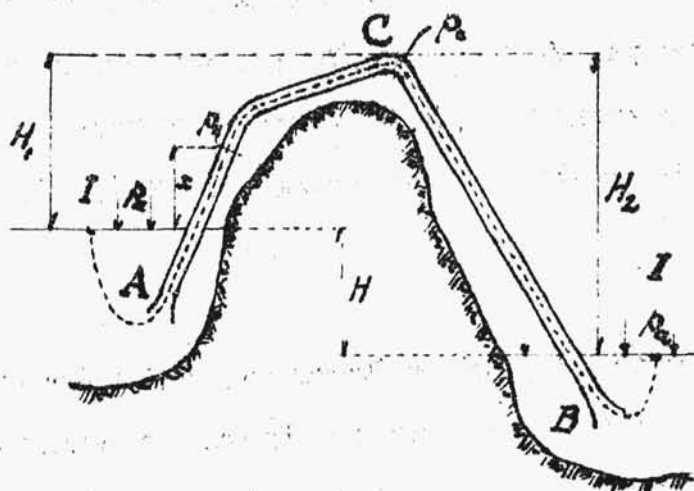
Określiwszy w ten sposób zastępczy wydatek Q , otrzymujemy prostszy wzór na obliczenie straty ciśnienia na końcu przewodu:

$$z_2 = \frac{\lambda L}{D^5} (Q_0 + 0,55 Q_0)^2 \dots \dots \dots /134/$$

Wzór ten jest często stosowany przy obliczaniu rur sieci wodociągowej.

RURY LEWAROWE /SSAWA/.

213. Przepływ cieczy ze zbiornika I do zbiornika II może być dokonany przy pomocy rury **ACB**



wygiętej
w postaci
litery **U**
zanurzonej
obydwo-
ma
końcami w
ciecz I i
II naczynia.

rys. 142.

Rurę taką nazywamy *l e w a r e m* albo *s s a w ą*. Aby móc wywołać w lewarze ruch cieczy, należy rurę ACB odwrócić końcami A i B do góry i kolaniem C na dół i następnie rurę napełnić cieczą. Po napełnieniu, zamknawszy otwory A i B , rurę odwrócić, aby kolano C znalazło się u góry, zaś końce A i B były zanurzone w cieczy I i II naczyń tak, jak to przedstawia rysunek. Późem można końce A i B otworzyć. W ramieniu CB wysokość słupa cieczy, mierzona w kierunku pionowym, jest większa niż w ramieniu AC . Skutkiem tego ciecz z ramienia CB zacznie opadać do naczynia II; przy wierzchołku C rury wytworzy się w pewnym stopniu próżnia. Dzięki temu z naczynia I przez ramię AC zacznie dopływać do C ciecz, która po dojściu do tego wierzchołka, zacznie spadać do II naczynia. W ten sposób rozpocznie się ruch cieczy w lewarze; ruch ten trwać będzie tak długo, póki będą spełnione warunki, o których niżej mowa.

214. Zapoczątkować ruch w lewarze, ustawionym jak na rysunku, można jeszcze tą drogą: z wierzchołka C lewara wysysamy w ten czy inny sposób

powietrze, tworząc tu znacznie zmniejszone ciśnienie /próżnię/. Wskutek tego ciecz z naczyń I i II zacznie podnosić się ku C . Ciecz z I naczynia prędzej dojdzie do C ramieniem AC , niż ciecz z II naczynia ramieniem BC , i zacznie się przelewać z AC do CB ; w ten sposób ciecz będzie wprowadzona w ruch od A przez C do B .

215. Zbadajmy obecnie, przy jakich warunkach może w sposób trwały zachodzić ruch cieczy w lewarze.

Rozpatrzmy strugę, zaczynającą się na swobodnej powierzchni naczynia I, następnie płynącą wzdłuż rury lewarowej; wreszcie koniec tej strugi niech będzie na swobodnej powierzchni w II naczyniu.

Niech na obydwóch powierzchniach będzie ciśnienie p_a i niech prędkości cieczy na tych powierzchniach wobec znacznych ich wymiarów, będą bardzo małe.

Założmy, że przez rurę lewarową odbywa się ruch trwały. Wtedy możemy zastosować twierdzenie D. Bernoulli'ego; zastosujemy je do cząstki na

swobodnej powierzchni I naczynia i następnie na swobodnej powierzchni II naczynia. Jako poziom zasadniczy przyjmijmy zwierciadło cieczy naprz. w I naczyniu. Różnica poziomów zwierciadeł w I i II naczyniu niech będzie H .

Dla cząstki na powierzchni I naczynia wysokość położenia jest $= 0$; wysokość ciśnienia $= \frac{p_a}{\rho}$; wysokość prędkości $= 0$.

Dla drugiego punktu: wysokość położenia $= -H$; wysokość ciśnienia $= \frac{p_a}{\rho}$; wysokość prędkości $= 0$. Dochodzą tu wysokości, stracone na tarcie w ramieniu AC i CB ; oznaczmy te straty przez h_{t1} i h_{t2} . Poza temi stratami jest jeszcze wysokość, stracona przy wyjściu cieczy z ramienia CB do zbiornika o znacznych wymiarach. Jeśli prędkość, z którą ciecz płynie w rurze lewarowej, jest v , wówczas strata omawiana, zgodnie z art. jest równa $\frac{v^2}{2g}$. Wobec tego twierdzenie D. Bernoulli'ego dostarcza nam równanie:

$$0 + \frac{p_a}{\rho} + 0 = -H + \frac{p_a}{\rho} + 0 + h_{t1} + h_{t2} + \frac{v^2}{2g}$$

Stąd $H = h_{t1} + h_{t2} + \frac{v^2}{2g}$;

albo $v = \sqrt{2g[H - (h_{t1} + h_{t2})]}$

Widzimy zatem, że, jeśli ma zachodzić ruch w lewarze, a więc, jeśli ma istnieć prędkość v , musi być ta prędkość wielkością rzeczywistą; zatem wielkość pod pierwiastkiem winna być dodatnią, t.j.

$$H - (h_{t_1} + h_{t_2}) > 0,$$

albo

$$H > h_{t_1} + h_{t_2}$$

Ponieważ podczas ruchu zawsze pozostają straty w przewodzie i to tem większe, im większa jest prędkość, zatem widzimy, że koniecznym warunkiem możliwości ruchu cieczy w lewarze jest istnienie różnicy poziomów cieczy w obydwóch naczyniach. Ta różnica H winna czynić zadość warunkowi:

$$H = h_{t_1} + h_{t_2} + \frac{v^2}{2g}$$

216. Nie jest to jednak jedyny warunek.

Dla nieprzerwanego ruchu cieczy w rurze lewarowej winno być w każdym przekroju ciśnienie hydrodynamiczne nie tylko > 0 /ujemne ciśnienie -

Zatem przyciąganie - jest obce cieczy/, ale większe od takiego ciśnienia, przy którym ciecz o danej temperaturze zaczyna parować. Oznaczmy to ciśnienie przez p_0 . Jeśliby w którymkolwiek przekroju lewara była dążność do powstania ciśnienia hydrodynamicznego, mniejszego niż p_0 , wówczas w tym miejscu zaczęłaby ciecz parować, przestrzeń w lewarze ponad tym przekrojem napełniłaby się parą cieczy i nastąpiłaby przerwa w dalszym podnoszeniu się cieczy.

Zapytajmy się, gdzie może powstać najmniejsze ciśnienie? W tym celu weźmy jakikolwiek przekrój w lewarze na wysokości x ponad zwierciadłem cieczy w I naczyniu i znajdziemy, jakie tu jest ciśnienie podczas ruchu cieczy.

Zgodnie z twierdzeniem D. Bernoulli'ego, zastosowaniem do dwóch cząstek na strudze: jednej, obranej na swobodnej powierzchni w naczyniu I, i drugiej, obranej wewnątrz lewara, w przekroju na wysokości x , otrzymamy równanie:

$$0 + \frac{p_0}{\rho} + 0 = x + \frac{p_x}{\rho} + \frac{v^2}{2g} + h_{tx}$$

gdzie p_x oznacza ciśnienie hydrodynamiczne w badanym przekroju oraz h_{tx} - wysokość stra-

cona na tarcie w przewodzie lewarowym od początku A do tegoż przekroju badanego.

Z ostatniego równania otrzymamy:

$$\frac{p_x}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - x - \frac{v^2}{2g} - h_{tx} \dots\dots (a)$$

Ponieważ dla przekrojów, obieranych w lewym ramieniu lewara coraz wyżej, x rośnie, również h_{tx} się powiększa, zatem ciśnienie p_x maleje w miarę tego, jak badamy coraz wyżej położone przekroje.

Stąd wnioskujemy, że najmniejsze ciśnienie hydrodynamiczne w lewarze będzie w najwyższym punkcie lewara, a zatem w wierzchołku C . Niech tu będzie ciśnienie p_c . Znajdziemy je z równania, otrzymanego w sposób podobny do tego, jak równanie (a)

Mianowicie:

$$\frac{p_c}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - H_1 - \frac{v^2}{2g} - h_{tc}$$

Ciśnienie p_c powinno być większe, niż ciśnienie p_0 , przy którym ciecz zaczyna parować. Ponieważ ma być $p_c > p_0$, więc

$$\frac{p_a}{\gamma} - H_1 - \frac{v^2}{2g} - h_{tc} > \frac{p_0}{\gamma}$$

Stąd znajdziemy:

$$H_1 < \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_0}{\gamma} - \frac{v^2}{2g} - h_{t1}$$

albo

$$H_1 < \frac{p_a}{\gamma} - \left(\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_{t1} \right) \dots\dots (6)$$

Nierówność ta, stanowiąca drugi warunek możliwości ruchu cieczy w lewarze, wskazuje, że wysokość H_1 winna być mniejsza od $\frac{p_a}{\gamma}$; naprz. dla wody - mniejsza od 10 m. Poza tem widzimy, że H_1 tem bardziej winna być mniejsza od $\frac{p_a}{\gamma}$, im p_0 , v , h_{t1} stają się większemi.

Cb do okoliczności, przy których otrzymujemy większe v i h_{t1} , niema tu nic do dodania po tem, co było w swoim miejscu powiedziane.

Co się tyczy p_0 , należy przypomnieć, że p_0 rośnie razem z temperaturą, jak to widać z poniższej tabelki, zestawionej dla wody czystej:

0°	4	10	20°	30	40	50
m.sł.wod 0,06	0,08	0,12	0,24	0,42	0,75	1,25
kg/cm² 0,006	0,008	0,012	0,024	0,042	0,08	0,13

60	70	80	85	90	95	100°C
2,00	3,20	4,80	5,90	7,15	8,60	10,3 m.sł.wod
0,20	0,32	0,48	0,59	0,72	0,86	1,03 kg/cm ²

Praktycznie H , dla wody zimnej /10° - 15°C./ nie powinno przekraczać 5 - 6 metrów.

Dla wody cieplej ta wysokość musi być zmniejszona; dla wrzącej wody np. otrzymujemy H , ujemne, co oznacza, że lewar nie może być zastosowany do przelewania wrzącej wody.

217. Zbadajmy teraz ruch w prawym ramieniu- CB - lewara. W tym celu napiszmy równanie D. Bernoulli'ego dla cząstki, obranej przy C i następnie dla cząstki na swobodnej powierzchni w naczyniu II. Poziom zasadniczy przyjmiemy na zwierciadle naczynia II. Otrzymamy równanie:

$$H_2 + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 + h_{t_2} + \frac{v^2}{2g},$$

gdzie w drugiej stronie równania h_{t_2} oznacza wysokość, straconą na tarcie podczas ruchu w prawym ramieniu od C do B , oraz $\frac{v^2}{2g}$ oznacza stratę wysokości z powodu przejścia cieczy z lewara do sze-

rokiego naczynia. Z otrzymanego równania znajdziemy:

$$\frac{p_c}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - H_2 + h_{t_2}$$

Zgodnie z poprzednim, p_c winno być $> p_o$, zatem

$$\frac{p_a}{\gamma} - H_2 + h_{t_2} > \frac{p_o}{\gamma},$$

a stąd

$$H_2 < \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_o}{\gamma} + h_{t_2}$$

Nierówność ta wymaga, aby H_2 było $< \frac{p_a}{\gamma}$, a więc dla wody zimnej < 10 m. Ponieważ jednak w prawej stronie nierówności mamy dodatni wyraz h_{t_2} , stąd wynika, że nawet, gdyby H_2 było $> \frac{p_a}{\gamma}$, to wówczas, zwiększając stosownie wysokość h_{t_2} - przez dławienie przepływu lub przez zmniejszenie średnicy przewodu, wreszcie przez wydłużenie przewodu, - możemy warunek żądany, aby $H_2 < \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_o}{\gamma} + h_{t_2}$, spełnić.

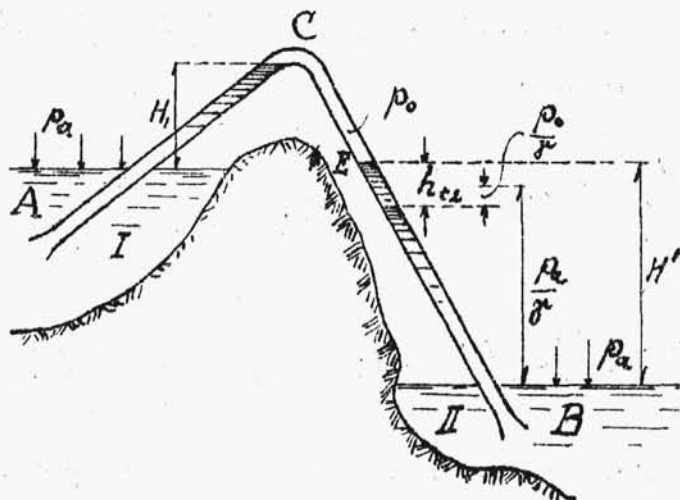
Spełnienie warunku ostatniego daje nam w prawym ramieniu lewara strumień ciągły - nieprzerwany. Zaraz zobaczymy, że warunek ten nie jest konieczny, aby ruch cieczy w lewarze był możliwy.

213. Rozpatrzmy, jakie to będzie zjawisko ruchu, jeśli dla prawego ramienia CB lewara nierówność

$$H_2 < \frac{\rho_a}{\gamma} - \frac{\rho_o}{\gamma} + h_{t2}$$

nie będzie się spełniała.

W tym celu wyobraźmy sobie, że lewar, będący w takich warunkach, uruchomiamy w sposób, podany w § 213, kiedy otwory końcowe obydwóch ramion są zamknięte, a lewar ACB jest zalany wodą. Otwórzmy teraz koniec B , zostawiając A w dalszym ciągu zamknięty. Wówczas w ramieniu prawym słup wody



rys.143.

rozerwie się przy C , gdyż ciśnienie atmosfery nie będzie w stanie podtrzymać słupa wody od C do B . Ponad zwierciadłem wody w ramieniu prawym utworzy

się "próżnia". Wysokość, na której zatrzyma się poziom wody w ramieniu prawem, będzie $\frac{p_a}{\gamma}$ mniej wysokości ciśnienia p_0 , przy którym woda może parować, takie bowiem ciśnienie może powstać ponad wodą w ramieniu prawem w przestrzeni, zajętej "próżnią". W ramieniu lewym poziome zwierciadło wody stanie stycznie do dolnej krawędzi kolana C.

Otwórzmy teraz koniec A lewego ramienia. Wówczas woda ze zbiornika I, gdzie na powierzchni zwierciadła wody jest ciśnienie atmosferyczne p_a zaś wewnątrz lewara przy C jest ciśnienie p_0 , rozpocznie się ruch wody z prędkością, którą znajdziemy z równania:

$$\frac{p_a}{\gamma} = H_1 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_{c1},$$

mianowicie:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{p_a - p_0}{\gamma} - h_{c1} - H_1 \dots\dots (6)$$

Woda, płynąc z taką prędkością z lewego ramienia do prawego, nie będzie w stanie zapełnić całego przekroju lewaru. Zacznie przelewać się po ścianie górnej części ramienia prawego, podnosząc poziom wody, który poprzednio w stanie spoczynku znalazł się na wysokości $\frac{p_a - p_0}{\gamma}$ ponad zwierciad-

łem II zbiornika. Po podniesieniu się tu poziomowi rozpocznie się ruch wody w ramieniu prawem i woda zacznie się wydostawać do zbiornika II. W miarę przybywania wody do prawego ramienia prędkość rośnie; po wyzyskaniu prędkości U , określonej wzorem (6), poziom zwierciadła wody się ustali, podniósłszy się ponad stanem w spoczynku o wysokość potrzebną do pokonania oporów podczas ruchu wody w tem ramieniu od E do B . Oznaczmy tę wysokość przez h_{t2} . Obliczyć tę wysokość będzie można ze wzorów na opory w przewodzie rurowym podczas przepływu wody z prędkością U , o czem we właściwym miejscu była mowa.

219. Spróbujmy obecnie znaleźć wydatek wody przez lewar. Niech będą dane: d - średnica przewodu, H - różnica poziomów wody w obydwóch zbiornikach, oraz l_1 i l_2 długości jednego i drugiego ramienia lewaru. Lewar czyni zadość warunkom, przy których obydwa ramiona są całkowicie zapełnione. -

Prędkość wypływu U znajdziemy, wychodząc z równania Bernoulli'ego, co już raz wyżej mieliśmy.

$$0 + \frac{p_a}{\rho} + 0 = -H + \frac{p_a}{\rho} + \frac{U^2}{2g} + h_{t1} + h_{t2}.$$