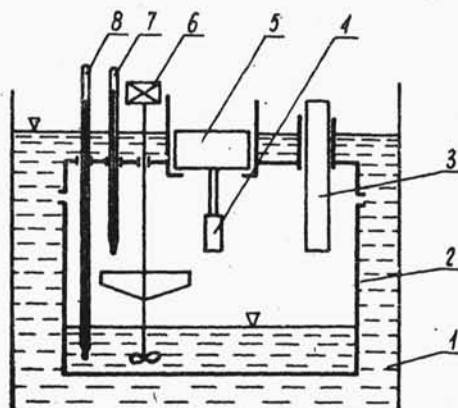


Nad powierzchnią tych roztworów, zgodnie z prawem Raulta, utrzymuje się określone ciśnienie pary wodnej. Stosując różne



Rys.7.16. Schemat higrostatu: 1-kąpiel termostatyczna, 2-właściwy higrostat, 3-higrometr punktu rosy (przyrząd wzorcowy), 4-badany czujnik, 5-pokrywa, 6-mieszadło mechaniczne powietrza i roztworu, 7, 8-termometry do pomiaru temperatury powietrza i roztworu

stężenia roztworów przy stałej temperaturze uzyskuje się w przestrzeni nad zwierciadłem roztworu wilgotne powietrze o dowolnym ciśnieniu cząstkowym pary wodnej, a tym samym różnej wilgotności względnej (rys.7.16).

8. POMIARY IŁOŚCI, PRĘDKOŚCI I STRUMIENIA MASY PŁYNÓW

8.1. WIADOMOŚCI WSTĘPNE

Ilość płynu może być określona za pomocą jego masy m lub objętości V . Pomiędzy tymi wielkościami zachodzą zależności, które można określić za pomocą wzorów

$$m = V \rho, \quad (8.1)$$

$$V = m \nu, \quad (8.2)$$

przy czym

$$v = \frac{1}{\rho},$$

(8.3)

gdzie:

ρ - gęstość płynu, kg/m^3 ,

v - objętość właściwa płynu, m^3/kg .

W układzie SI zarówno ilość masy, jak i materii, wyraża się taką samą jednostką miary - kilogramem (kg). Jednak w technice do pomiaru ilości płynu częściej stosuje się metodę objętościową. Związane to jest ze znacznie prostszą konstrukcją przyrządów pomiarowych. Jak wynika z zależności (8.1) i (8.2) jednostka objętości jest pośrednią jednostką masy. W związku z tym przy pomiarze objętości cieczy należy zawsze równocześnie mierzyć jej temperaturę, a przy pomiarze objętości gazu zarówno temperaturę, jak również ciśnienie. Do pomiaru ilości gazu stosuje się wyłącznie metodę objętościową. W celu uzyskania wyników porównawczych zmierzone objętości przelicza się na warunki umowne (normalne) ($p_n = 101\,325\text{ Pa}$, $T_n = 273,15\text{ K}$) lub ($p_u = 0,1\text{ MPa}$, $T_u = 273,15\text{ K}$). Wygodniej stosować jest warunki tzw. normalne, ponieważ wówczas unika się konieczności przeliczania wielkości fizycznych zawartych w tablicach liczbowych, określających fizyczne właściwości ciał.

Pojęcie strumienia masy oznacza masę płynu przepływającą przez określony przekrój w jednostce czasu. Strumień masy \dot{m} wyrażony jest w kg/s , natomiast objętość strumienia masy \dot{V} w m^3/s . W układzie technicznym używane były określenia - masowe i objętościowe natężenie przepływu płynu.

W obowiązującej normie PN-65/M-53950 ilość płynu przepływającego w ciągu godziny określa się również jako masowe i objętościowe natężenie przepływu.

Pomiaru strumienia masy płynu można dokonać:

1) w sposób pośredni przez:

a) pomiar objętości płynu V , który w określonym czasie wpłynął do zbiornika mierniczego,

b) pomiar poprzecznego przekroju przewodu oraz średniej prędkości przepływu płynu przez ten przekrój,

c) pomiar poprzecznego przekroju przewodu i miejscowych prędkości przepływu płynu w określonych punktach tego przekroju,

d) pomiar za pomocą zwężek zabudowanych w rurociąg (w przypadku pomiarów dokładnych).

2) w sposób bezpośredni przez zastosowanie przyrządów tzw. przepływomierzy.

W przypadku zastosowania zwężek, strumień masy czynnika określa się ze wzoru

$$\dot{m} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot F_0 \sqrt{\frac{2 \Delta p}{v_1}}, \quad \text{kg/s}, \quad (8.4)$$

gdzie:

α - liczba przepływu,

ε - liczba ekspansji,

F_0 - pole powierzchni otworu przepływowego zwężki w temperaturze płynu badanego, m^2 ,

Δp - różnica ciśnień statycznych przed i za zwężką, tzw. ciśnienie różnicowe, Pa,

v_1 - objętość właściwa płynu przed zwężką, m^3/kg .

Ze wzoru (8.4) wynika, że aby określić strumień masy płynu, należy zmierzyć ciśnienie różnicowe Δp ; wymagana jest przy tym znajomość parametrów określających stan płynu oraz wielkości wymienionych we wzorze.

W ustalonych warunkach termodynamicznych i przy założeniu niezmienności wielkości α oraz ε zależność (8.4) przyjmie postać

$$\dot{m} = C_1 \sqrt{\Delta p} \quad \text{lub} \quad \dot{V} = C_2 \sqrt{\Delta p}, \quad (8.5)$$

gdzie: C_1, C_2 - wielkości stałe charakterystyczne dla sposobu pomiaru.

Dla takich warunków manometr do pomiaru ciśnienia różnicowego (np. waga pierścieniowa) może być wzorcowany bezpośrednio w jednostkach strumienia masy lub objętości strumienia masy i wówczas będzie to bezpośredni miernik przepływu.

8.2. POMIAR OBJĘTOŚCI ORAZ STRUMIENIA MASY CIECZY

8.2.1. KLASYFIKACJA PRZYRZĄDÓW

Do pomiaru średniej objętości strumienia masy cieczy stosowane są:

1) przepływomierze zbiornikowe otwarte,

2) przepływomierze silnikowe.

Z kolei przyrządy do pomiaru strumienia masy cieczy dzielą się na:

1) przepływomierze poziomowe, mierzące wysokość poziomu cieczy przepływającej przez zbiornik,

2) przepływomierze dławiące o stałym otworze (zwężki za-
instalowane w rurociągu).

3) przepływomierze o stałym spadku ciśnienia (rotametry),

4) przepływomierze z pomiarem ciśnienia dynamicznego -
pomiar miejscowego ciśnienia dynamicznego rurkami spiętrzającymi,

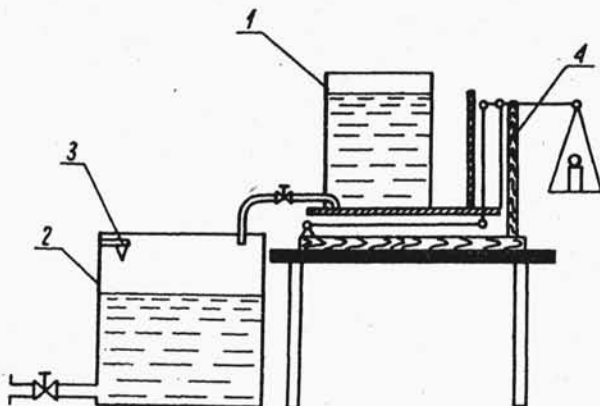
5) przepływomierze indukcyjne, jonizacyjne, ultradźwiękowe, turbinkowe i inne.

Przepływomierze wymienione w punkcie 2, 3 i 4 stosowane są do pomiaru strumienia masy płynu.

8.2.2. RODZAJE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH

Przepływomierze zbiornikowe otwarte

Schemat otwartego przepływomierza zbiornikowego pokazano na rys.8.1. Jest to najprostszy, a jednocześnie najdokładniejszy układ do pomiaru masy cieczy (np. wody zasilającej kocioł, skroplin, oleju itd.). Do zbiornika pomiarowego 1 ustawionego na wadze dopływa ciecz, która po zważeniu przelewana jest do zbiornika pomocniczego 2. Zbiornik pomocniczy 2

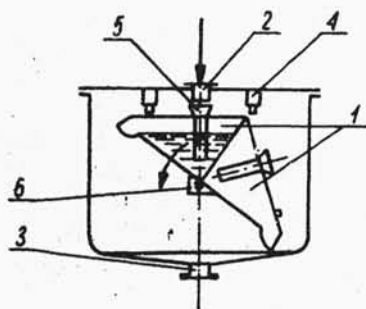


Rys.8.1. Schemat przepływomierza zbiornikowego

powinien być wyposażony w rurkę wodowskazową lub poziomo-wskaz ostrzowy, które służą do ustalania poziomu cieczy na początku i końcu okresu pomiarowego.

Pomiar masy lub objętości cieczy tą metodą jest bardzo dokładny, ale ilość przepływającej cieczy można określić tylko w dłuższych okresach czasu (średni strumień masy lub objętość strumienia). Tego rodzaju urządzenia stosowane są do pomiarów dokładnych, np. przy sporządzaniu bilansów energetycznych źródeł ciepła oraz przy sprawdzaniu wskazań wodomierzy i przepływomierzy różnych typów.

Do grupy przepływomierzy zbiornikowych otwartych zaliczany jest również przepływomierz nieckowy. Schemat takiego przepływomierza pokazano na rys.8.2. Układ pomiarowy składa się z dwóch jednakowych zbiorników (niecek) 1 przedzielonych przegrodą. Ciecz dopływa króćcem 2 poprzez lejek 5 do niecki 1 i po napełnieniu do odpowiedniego poziomu powoduje przechylenie wahliwego układu pomiarowego. Następuje napełnianie drugiej niecki przepływomierza przy równoczesnym opróżnianiu już napełnionej niecki. Zmierzony strumień cieczy odpływa poprzez króciec 3. Zderzaki 4 są przeznaczone do ustawienia niecek pod króćcem dopływu cieczy. Wahadłowy ruch niecek przekazywany jest poprzez oś 6 do mechanizmu liczydła, które wskazuje ilość przepływającej cieczy w jednostkach objętości.



Rys.8.2. Schemat przepływomierza nieckowego:
1 - zbiorniki miernicze (niecki), 2-króciec dopływowy, 3-króciec odpływowy, 4-zderzak, 5-lejek

Dokładność pomiaru za pomocą tych przyrządów, z powodu stosunkowo dużej swobodnej powierzchni cieczy w chwili przechylenia niecki, jest znacznie mniejsza niż przy stosowaniu metody omówionej poprzednio.

Przepływomierze silnikowe

Do przepływomierzy silnikowych zalicza się:

- przepływomierze wirnikowe, w których organem mierzącym jest wirnik poruszający się pod wpływem naporu hydrodynamicznego cieczy przepływającej przez jego komorę,
- przepływomierze komorowe z organem czynnym poruszającym się pod wpływem różnicy ciśnień lub masy cieczy, przy czym jeden pełny obrót tego organu odmierza określoną objętość cieczy.

Przepływomierze wirnikowe często nazywane są przepływomierzami prędkościowymi, ponieważ bezpośrednio mierzą prędkość przepływającej cieczy. Najczęściej jednak przyrządy te podają wynik w jednostkach objętości. Objętość przepływającej przez przepływomierz wirnikowy cieczy określa się za pomocą wzoru

$$V = c_{sr} S, \quad (8.6)$$

gdzie:

c_{sr} - średnia prędkość przepływu cieczy, m/s,

S - pole poprzecznego przekroju przepływu cieczy, m^2 .

Przyjmując, że liczba obrotów wirnika jest proporcjonalna do średniej prędkości przepływu strumienia cieczy

$$n = a c_{sr},$$

po uwzględnieniu wielkości (8.6) otrzymuje się zależność

$$n = a \frac{V}{S}, \quad (8.7)$$

gdzie:

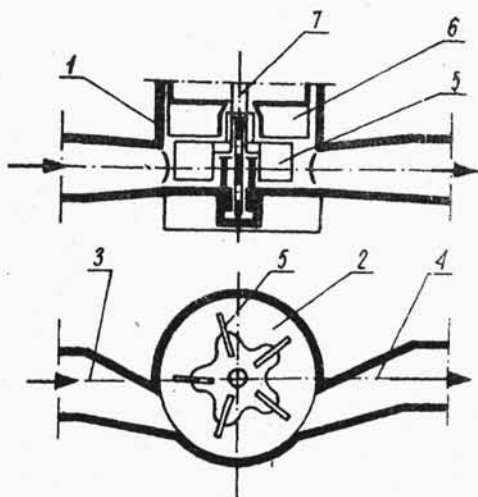
n - liczba obrotów wirnika,

a - współczynnik proporcjonalności charakteryzujący mechaniczne i hydrodynamiczne właściwości przyrządów.

Ze wzoru (8.7) wynika, że liczba obrotów wirnika jest proporcjonalna do objętości strumienia masy cieczy. W zależności od konstrukcji wirnika do przepływomierzy prędkościowych zalicza się: przepływomierze z wirnikami skrzydełkowymi

oraz śrubowymi. Wśród przepływomierzy skrzydełkowych występują dwa rodzaje przyrządów: jednostrumieniowy i wielostrumieniowy. Schemat przepływomierza jednostrumieniowego pokazano na rys.8.3.

Do komory wirnika 2 ciecz dopływa kanałem 3 skośnie względem osi wirnika i obraca wirnik 5 z prędkością teoretycznie proporcjonalną do prędkości strugi. Prędkość obrotowa wirnika jest zatem proporcjonalna do objętości strumienia masy cieczy, a ilość wykonanych obrotów w czasie pomiaru proporcjonalna do ilości cieczy, która w tym czasie przepłynęła przez przepływomierz.



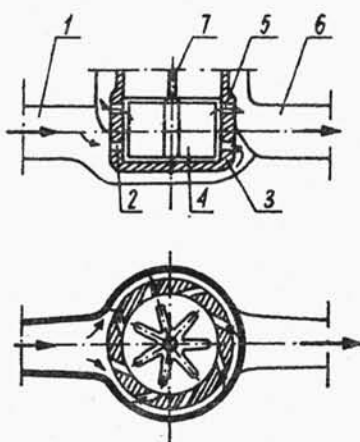
Rys.8.3. Schemat jednostrumieniowego przepływomierza skrzydełkowego

Obroty wirnika przekazywane są poprzez przekładnię zębatą i oś 7 na mechanizm liczydła, który spełnia rolę urządzenia całkującego. Odpowiednia konstrukcja mechanizmu liczącego uwzględnia współczynnik proporcjonalności "a" charakteryzujący mechaniczne i hydrodynamiczne własności przyrządu.

Wirnik cięciomierza jednostrumieniowego powinien mieć nieparzystą liczbę łopatek; zapobiega to powstawaniu drgań mechanicznych w czasie pracy przyrządu. Poza tym przepływomierz wyposażony jest w nieruchome łopatki spiętrzające 6 (niektóre mają możliwość niewielkiej regulacji kąta pochylenia), umieszczone w komorze wirnikowej nad lub pod wirnikiem. Łopatki te, w przypadku zmiany natężenia przepływu cieczy, a więc i prędkości, powodują szybsze przystosowanie się wirnika do nowych warunków hydrodynamicznych. Pozwala to uzyskać proporcjonalność wskazań cięciomierza w zależności od ilości przepływającej cieczy.

Zasadę pracy przepływomierza wieloskrzydełkowego pokazano na rys. 8.4. Ciecz dopływa kanałem 1 do specjalnej komory 3 wirnika 4. Komora wirnikowa 3 jest wykonana łącznie z kor-

puszem cięciomierza tak, że dolna jej część połączona z kanałem dopływowym 1 stanowi komorę zasilaającą wirnik, zaś górna część komorę odpływową cieczy. Ciecz dopływa do przestrzeni między łopatkowymi wirnika poprzez szereg poziomych strumieni 2 rozmieszczonych równomiernie na obwodzie komory. Skośne usytuowanie otworków dopływowych i odpływowych 5 względem płaszczyzn przeprowadzonych przez oś wirnika powoduje ruch obrotowy wirnika, który następnie przenoszony jest przez wałek 7 na mechanizm liczydła. Zaletą tego rozwiązania w stosunku do przyrządów jednostrumieniowych jest równomierne obciążenie łopatek, co zapewnia wolniejsze i równomierne zużywanie łożysk, a tym samym zwiększenie dokładności pomiaru i trwałości przepływomierza.



Rys.8.4. Schemat wielostrumieniowego przepływomierza skrzydełkowego

Charakterystykę pracy przepływomierzy skrzydełkowych podano na rys.8.5, natomiast dopuszczalne natężenia przepływu cieczy w zależności od nominalnej średnicy przyrządu podano w tablicach: 8.1 i 8.2.

Istotną zaletą przepływomierzy skrzydełkowych jest to, że przy ich zamontowaniu nie wymagają one prostych odcinków rurociągu przed i za przyrządem.

Tablica 8.1

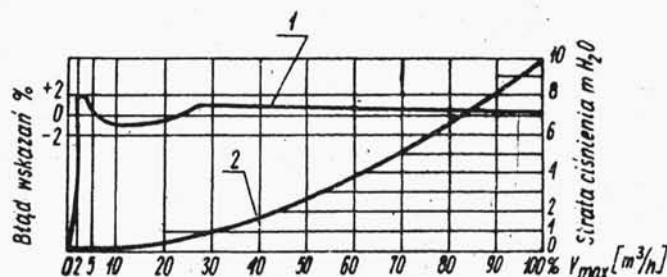
Dopuszczalne natężenie przepływu dla cięciomierza skrzydełkowego wielostrumieniowego

Średnica nominalna cięciomierza	mm	15	20	25	30	40
Dopuszczalne obciążenie dobowe	m ³	6	10	14	20	40
Dopuszczalne najwyższe obciążenie szczytowe	m ³ /h	1,5	2,5	3,5	5,0	10

Tablica 8.2

Dopuszczalne natężenie przepływu dla cieczomierza skrzydełkowego jednostrumieniowego

Średnica nominalna cieczomierza	mm	15	20	25	30	40
Zalecane obciążenia dobowe	m ³	6	10	14	20	40
Maksymalne obciążenia (\dot{V}_{\max})	m ³ /h	3	5	7	10	20
Minimalne obciążenia (\dot{V}_{\min})	m ³ /h	0,06	0,10	0,140	0,2000	0,400



Rys.8.5. Charakterystyka pracy przepływomierza skrzydełkowego: 1-błąd wskazań, 2-strata ciśnienia w m H₂O

Przepływomierze z wirnikami śrubowymi stosowane są do pomiaru dużych objętości strumienia masy zarówno zimnych, jak i gorących cieczy, przy średnicach nominalnych większych od 40 mm. Powyżej dolnej granicy zastosowania przepływomierza, liczba obrotów wirnika jest proporcjonalna do prędkości przepływu cieczy, a tym samym do objętości strumienia masy \dot{V} .

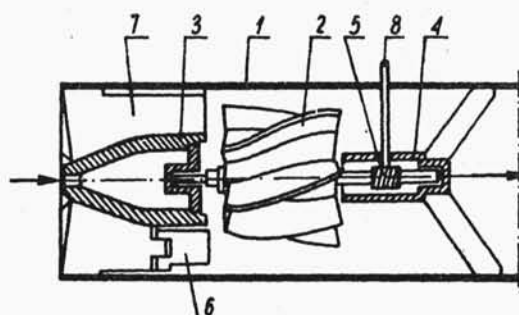
$$n = k \frac{c_{sr}}{l} = k \frac{\dot{V}}{l S}, \quad (8.8)$$

gdzie:

k - stała przyrządu,

l - skok łopatki wirnika, m.

Na rysunku 8.6 pokazano schemat przepływomierza z wirnikiem śrubowym na osi poziomej. Wirnik 2 składający się z łopatek w kształcie śruby wielozwojowej osadzony jest w łożyskach 3 i 4 w osi cylindrycznego kadłuba 1. Ciecz dopływa do komory wirnikowej poprzez prostownicę strumienia 7, której zadaniem jest utrzymanie osiowego przepływu strugi. Napór cie-



Rys.8.6. Schemat przepływomierza z wirnikiem śrubowym

czy na zakrzywione łopatki wirnika powoduje jego obrót z jednoczesnym uruchomieniem przekładni ślimakowej 5, która poprzez wałek 8 przenosi ruch obrotowy wirnika na mechanizm liczydła. Położenie jednego skrzydełka 6 prostownicy 7 może być od zewnątrz regulowane pod pewnym

kątem w stosunku do kierunku głównego przepływu cieczy. Konstrukcja taka zapewnia możliwość wyregulowania (adiustacji) przyrządu podczas jego sprawdzania i wzorcowania.

Pomiar natężenia przepływu przepływomierzem śrubowym, podobnie jak przepływomierzami skrzydełkowymi, można wykonywać przy zachowaniu pewnej minimalnej prędkości przepływu strugi. Opory mechaniczne powodują znaczne zniekształcenie wyników pomiarów przy małych liczbach obrotów wirnika. Przepływomierz pracuje prawidłowo tylko wówczas gdy rozkład prędkości strumienia cieczy jest taki jak podczas wzorcowania. Dodatkowe błędy pomiarów powstają przy niewłaściwym zainstalowaniu przyrządu. Należy zwrócić uwagę na to, aby przed zamontowaniem przepływomierzem długość prostego odcinka przewodu wynosiła $8 \div 10 D$, a za przyrządem nie mniej niż $5D$ (D średnica wewnętrzna przewodu).

Charakterystyka pracy przepływomierzy śrubowych jest podobna do charakterystyki przepływomierzy skrzydełkowych, przy czym straty ciśnienia przepływającej cieczy są znacznie mniejsze.

Zakres natężenia przepływu wynosi od 22 do 1700 m³/h w zależności od średnicy nominalnej. Błąd pomiaru waha się od $\pm 2\%$ do $\pm 3\%$, w zależności od wydajności przepływomierza.

Przepływomierze komorowe

Cieczomierze komorowe, w porównaniu z przepływomierzami wirnikowymi, wyróżniają się większą dokładnością wskazań i mniejszą wrażliwością na ewentualne czynniki zakłócające warunki pomiaru. Ich konstrukcja jest jednak bardziej skomplikowana i wskutek tego są one znacznie droższe od przyrządów wirnikowych. Z tego też powodu przepływomierze komorowe stosowane są do pomiarów bardziej cennych cieczy, np. spirytusu, benzyny, olejów mineralnych itd. oraz jako wodomierze kontrolne.

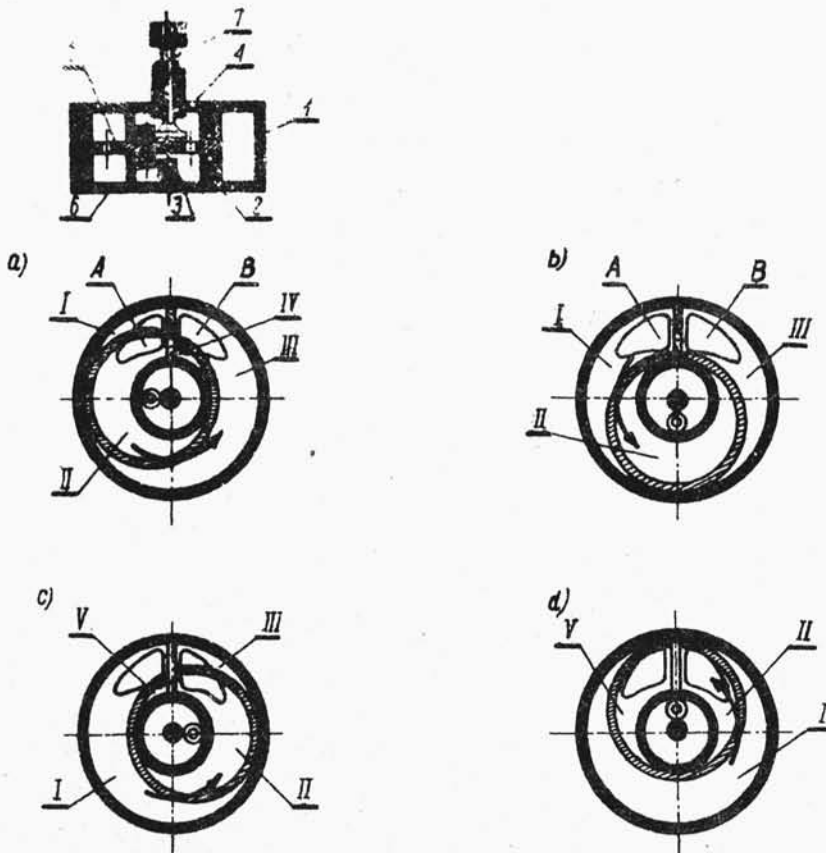
Przepływomierz z tłokiem pierścieniowym

Zasadę pracy tego przepływomierza pokazano na rys.8.7. Główną część przepływomierza stanowi komora pomiarowa pomiędzy pierścieniami 1 i 2, w której obraca się tłok pierścieniowy 5 o przekroju dwuteowym. Zewnętrzna część obracającego się tłoka jest zawsze styczna do pierścienia 1, a wewnętrzna do pierścienia 2. Ciecz dopływa do przepływomierza kanałem wlotowym A znajdującym się w dolnej części korpusu 6. Następnie płynie do komory pomiarowej przedzielonej przegrodą, wywołując obrót tłoka i odpływa z przyrządu kanałem B znajdującym się po drugiej stronie przegrody w górnej części korpusu 4. Obrotowy ruch tłoka jest przenoszony za pomocą przekładni zębatych i osi 7 na mechanizm liczydła. Układ liczydła (pracujący w atmosferze powietrza) jest urządzeniem sumującym objętość cieczy, która przepłynęła przez przyrząd.

Kolejne fazy położenia tłoka pokazano na rys.10.7.

1) ciecz dopływa do komory pomiarowej przepływomierza kanałem dopływowym A (rys.8.7a) i wypełniając objętość I i II przesuwają tłok w kierunku zaznaczonym strzałką,

2) tłok, przemieszczając się w komorze, powoduje zmniejszanie objętości IV i III (rys.8.7b), z których ciecz jest usuwana kanałem odpływowym B,



Rys.8.7. Schemat przepływomierza z tłokiem pierścieniowym - kolejne położenia tłoka obrotowego

3) tłok obraca się w dalszym ciągu, przy czym następuje powstawanie objętości V (rys.8.7c),

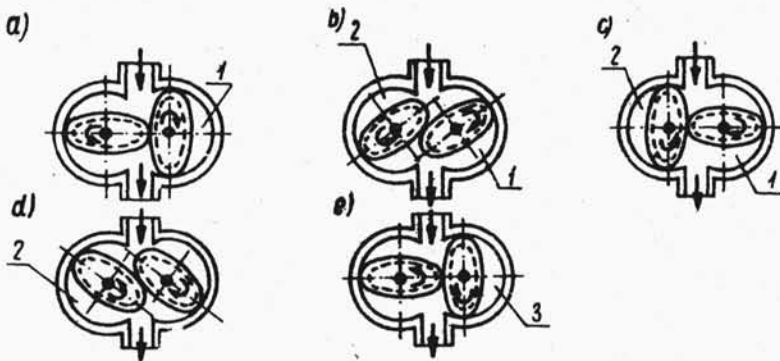
4) objętości I i V są wypełnione cieczą dopływającą kanałem A, co powoduje dalsze przemieszczanie się tłoka i usuwanie cieczy z objętości II i III poprzez kanał odpływowy B (rys.8.7d). Następnie cykl pracy przepływomierza powtarza się.

Charakterystyka pracy oraz dopuszczalne natężenia przepływu dla przepływomierzy z tłokiem pierścieniowym są takie same jak dla przepływomierzy skrzydełkowych (tablica 8.2 i rys.8.5). Mniejsze są tylko minimalne natężenia przepływu, które można mierzyć z dokładnością $\pm 2\%$; wynoszą one:

Średnica nominalna	mm	15	20	25	30	40
Minimalne obciążenia	m ³ /h	0,010	0,015	0,025	0,030	0,045

Przepływomierz z owalnymi wirnikami

Wśród przepływomierzy komorowych w praktyce najczęściej stosowane są przepływomierze z owalnymi wirnikami. Schemat tego typu przyrządu pokazano na rys.8.8. Strumień cieczy prze-



Rys.8.8. Schemat przepływomierza z owalnymi wirnikami

plywający przez przepływomierz zużywa część swojej energii na wprowadzenie w ruch obrotowy owalnych kół zębatych połączonych ze sobą zazębieniem ewolwentowym. W zależności od wzajemnego położenia wirników względem napływającego strumienia cieczy, każdy z nich jest kolejno elementem napędzającym lub napędzanym (położenie a,c,e) albo też są one jednocześnie napędzane przez napór cieczy (położenie b, d). W czasie obrotów wirników zamykana jest określona objętość cieczy między owalem wirników i ściankami korpusu (objętość 1, 2, 3), a następnie przetwarzana do króćca wypływowego przepływomierza.

Jeden pełny obrót wirników (rys.8.8) odmierza objętość cieczy równą czterokrotnej objętości przestrzeni pomiarowej 1. Ilość cieczy przepływająca przez przepływomierz jest więc

proporcjonalna do liczby obrotów owalnych wirników. Odpowiednio dobrana przekładnia przenosi obroty wirników na liczydło, które całkuje objętość przepływającej cieczy.

Przepływomierze z owalnymi wirnikami wykonywane są z przeznaczeniem dla pomiarów natężeń przepływu $0,03 \div 120 \text{ m}^3/\text{h}$, dla ciśnień do $1,57 \text{ MPa}$ i $39,2 \text{ MPa}$ oraz zakresu temperatur cieczy $-20 \div 150^\circ\text{C}$, przy czym nominalna średnica wynosi $20 \div 100 \text{ mm}$.

Spadek ciśnienia cieczy w przepływomierzu wynosi około $0,02 \text{ MPa}$. Błąd pomiaru zależy od lepkości przepływającej cieczy i zmienia się od $\pm 0,5\%$ do $\pm 1,0\%$. A więc tego rodzaju przepływomierze są znacznie bardziej dokładne od przepływomierzy z tłokiem pierścieniowym.

Przepływomierze poziome

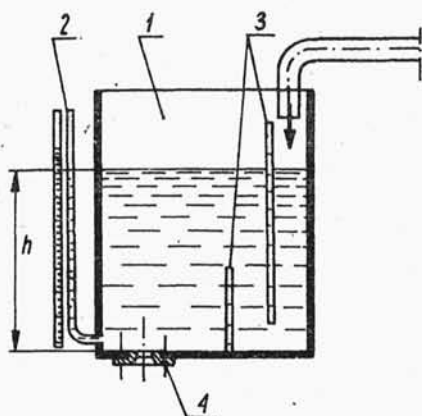
Zasada pracy tych przepływomierzy polega na swobodnym wypływie cieczy przez otwór w dnie lub bocznej ścianie zbiornika pomiarowego. Zbiornik pomiarowy o przekroju poprzecznym kołowym lub prostokątnym wyposażony jest w poziomowskaz pozwalający ustalić wysokość słupa cieczy nad otworem wypływowym.

Przepływomierze poziome stosowane są przede wszystkim do pomiaru objętości strumienia masy cieczy aktywnych oraz w przypadku pulsujących strumieni cieczy, w których znajdują się pęcherzyki gazu. Wadą tych przyrządów jest wykonywanie pomiarów przy ciśnieniu atmosferycznym, co w znacznym stopniu ogranicza zakres ich zastosowania.

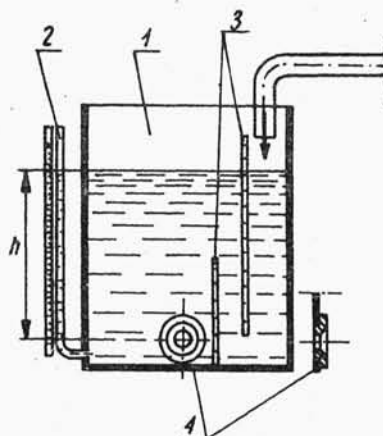
Zasadę pracy przepływomierzy poziomych wyjaśniono na rys.8.9, na którym pokazano schemat danaidy oraz na rys.8.10. przedstawiającym schemat naczynia Ponceleto.

Zbiornik pomiarowy 1 wyposażony jest w poziomowskaz 2 oraz dwie przegrody uspokajające 3 wykonane z blachy perforowanej, których zadaniem jest uspokojenie strumienia przepływającej cieczy. Ponadto spełniają one rolę filtra zapobiegającego zanieczyszczeniu zwężek wypływowych. W dnie zbiornika (w przypadku danaidy) lub w bocznej ścianie (naczynie Ponceleto) umieszczony jest otwór wypływowy 4 względnie otwory wypływowe w postaci kryzy lub dyszy. Stosowane są również prze-

plywomierze z wypływem przez szczelinę umieszczoną w bocznej ścianie zbiornika. Ilość cieczy wypływającej ze zbiornika pomiarowego można regulować poprzez dobór zwężek pomiarowych o różnych średnicach.



Rys. 8.9. Schemat przepływomierza poziomowego - daniady ze znormalizowaną kryzą pomiarową



Rys. 8.10. Schemat przepływomierza poziomowego - naczynia Ponceleta ze znormalizowaną kryzą pomiarową

Objętość strumienia masy cieczy określa się za pomocą wzoru stosowanego dla zwężek pomiarowych, a mianowicie

$$\dot{V} = \alpha F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}, \quad \text{m}^3/\text{s}.$$

W tym przypadku

$$p_1 - p_2 = h \rho g, \quad \text{Pa},$$

zatem pomiędzy objętością strumienia masy, a spiętrzeniem nad otworem wypływowym, zachodzi zależność

$$\dot{V} = \alpha F_0 \sqrt{2gh} = 4,43 \alpha F_0 \sqrt{h}, \quad \text{m}^3/\text{s}, \quad (8.9)$$

gdzie:

α - współczynnik przepływu,

F_0 - pole poprzecznego przekroju zwężki, m^2 ,

h - wysokość słupa cieczy nad otworem wypływowym, m.

Współczynnik przepływu α określa się drogą wzorcowania. Dla małych przepływów najwygodniej jest określić $\dot{V} = f(h)$ lub $\dot{m} = f(h)$ poprzez ważenie ilości wypływającej cieczy w określonym czasie; czas wypływu cieczy należy mierzyć stoperem.

Przy projektowaniu przepływomierzy poziomowych należy zwrócić uwagę na to, aby prędkość przepływu cieczy w zbiorniku pomiarowym nie przekraczała 0,1 m/s. Nie przestrzeganie tej reguły prowadzi do błędów pomiaru strumienia masy cieczy, ponieważ wówczas wielkość ta zależy nie tylko od prędkości wypływu cieczy przez otwór pomiarowy, ale również od prędkości przepływu cieczy w zbiorniku.

Ponadto współczynniki przepływu α dążą do stałych wartości w miarę wzrostu wysokości poziomu cieczy nad otworem h . Należy więc dokonywać pomiarów przy $h > 300$ mm. Pomiar strumienia masy należy wykonywać po ustaleniu stanu równowagi cieczy ($h = \text{const}$) w czasie co najmniej kilku minut, przy czym wykonuje się odczyty h co 30 sek.

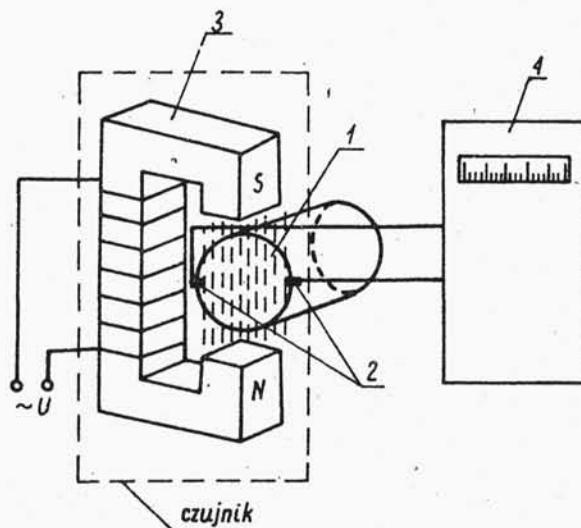
Przy pomiarze strumienia masy cieczy o temperaturze różnej od temperatury otoczenia, na skutek wymiany ciepła temperatura cieczy w rurce poziomowskazowej będzie inna niż w zbiorniku pomiarowym, a tym samym będzie również inna gęstość, co spowoduje powstanie błędu pomiarowego. Korzystniej jest wówczas zastosować zamiast rurki, inny - dokładniejszy przyrząd do pomiaru wysokości słupa cieczy. Poza tym średnica wewnętrzna rurki dla określonych cieczy powinna być taka, aby nie powstawał błąd wskutek włoskowatości.

Przepływomierz elektromagnetyczny (indukcyjny)

W przepływomierzach elektromagnetycznych wykorzystano zjawisko powstawania siły elektromotorycznej E indukowanej w strumieniu cieczy, przewodzącej prąd elektryczny, przepływającej w poprzek linii sił pola magnetycznego. Powstająca siła elektromotoryczna E jest proporcjonalna do średniej prędkości przepływającej cieczy c , wewnętrznej średnicy przewodu czujnika d (długości przewodnika) oraz indukcji magnetycznej B

$$E \approx B d c_{sr} \quad (8.10)$$

Schemat przepływomierza opartego na powyższej zasadzie pokazano na rys.8.11. Czujnik przepływomierza wbudowywanego w rurociąg składa się: z odcinka niemagnetycznego, izolowanego elektrycznie od cieczy (jako przewodnika) 1 przewodu z elektrodami 2 oraz elektromagnesu 3 zasilanego prądem o zmiennym napięciu. Elektrody umieszczone w ścianie przewodu czujnika w płaszczyźnie prostopadłej zarówno do osi przewodu,



Rys.8.11. Schemat przepływomierza elektromagnetycznego

jak i linii sił pola magnetycznego, połączone są z przyrządem pomiarowym (kompensatorem) 4. Przewodnikiem elektrycznym jest ciecz 1 przepływająca w przewodzie rurowym będącym czujnikiem. Siła elektromotoryczna E pojawiająca się na elektrodach jest funkcją średniej prędkości przepływu cieczy, a tym samym jest proporcjonalna do objętości strumienia masy cieczy \dot{V} . Wielkość tę mierzy się za pomocą kompensatora wzorcowanego bezpośrednio w jednostkach objętości strumienia masy.

Przepływomierze elektromagnetyczne można stosować do tych cieczy, których przewodność elektryczna jest wyższa od $10 \mu S/cm^2$ (mikrosimensów/ cm^2). Błąd pomiaru nie przekracza $\pm 1\%$

maksymalnych natężeń przepływu. Na wskazania przepływomierza nie ma wpływu ani lepkość, ani gęstość mierzonej cieczy; z tego względu przepływomierzem można mierzyć natężenie przepływu cieczy agresywnych oraz cieczy o dowolnej konsystencji.

8.3. POMIAR OBJĘTOŚCI ORAZ STRUMIENIA MASY GAZÓW

8.3.1. KLASYFIKACJA PRZYRZĄDÓW

Podobnie jak przy pomiarach cieczy przepływomierze gazowe dzielą się na przyrządy do pomiaru objętości (średniego natężenia przepływu) oraz przyrządy do pomiaru strumienia masy gazu (chwilowego natężenia przepływu).

Objętość gazu mierzona jest za pomocą gazomierzy komorowych, które dzielą się na:

- 1) gazomierze miechowe,
- 2) gazomierze bębnowe,
- 3) gazomierze z tłokami wirującymi.

Do pomiaru strumienia masy gazu stosowane są przepływomierze wymienione w punkcie 2 i 3, przy omawianiu pomiaru strumienia masy cieczy, oraz przyrządy do pomiaru prędkości miejscowych i średnich przepływającego gazu. Zalicza się do nich:

- rurki spiętrzające (stosowane również do pomiaru strumienia masy cieczy),
- anemometry skrzydełkowe,
- termoanemometry,
- katatermometry.

8.3.2. PRZYRZĄDY DO POMIARU OBJĘTOŚCI GAZU

Gazomierze miechowe

Gazomierze tego typu stosowane są do pomiaru objętości gazu o niskim ciśnieniu. Powszechnie używane są one do pomiaru ilości gazu dostarczanego dla potrzeb gospodarstw domowych. Zasadniczym elementem gazomierzy miechowych są komory pomiarowe w postaci miechów kolejno napełnianych i opróżnianych gazem. Zmianę kierunku ruchu miechów osiąga się za pomocą rozrządu suwakowego lub zaworowego.