

Błędy pomiarowe manometrów z elementami sprężystymi

Błędy pomiaru ciśnienia mogą powstawać pod wpływem:

- temperatury,
- tarcia,
- histerezy,
- położenia manometru.

Wpływ temperatury na wskazania manometrów rurkowych określa wzór

$$\Delta p_t = -k p_0 \Delta t, \quad \text{MPa}, \quad (3.30)$$

gdzie:

k - współczynnik zależny od rodzaju manometru, K^{-1} ,

p_0 - ciśnienie wskazywane przez manometr, MPa,

Δt - różnica pomiędzy temperaturą pomiaru a temperaturą wzorcowania manometru (20°C), K.

Dla manometrów rurkowych współczynnik k ma wartość $k = 4 \cdot 10^{-4} K^{-1}$.

Definicje błędów spowodowanych tarciami, histerezą oraz położeniem manometru jak również sposób ich uwzględniania omówiono w p.3.4, dotyczącym sprawdzania ciśnieniomierzy sprężynowych.

3.2.6. MANOMETRY ELEKTRYCZNE

Przyrządy te są stosowane zazwyczaj do pomiaru wysokich ciśnień i dlatego nie znajdują szerszego zastosowania przy pomiarach w inżynierii sanitarnej. Wykorzystują one m.in. zjawisko piezoelektryczne oraz zmianę oporności przewodników w zależności od ciśnienia. Dokładny opis tych przyrządów znajduje się w literaturze [7] i [13].

3.3. ZASADY DOBORU I EKSPLOATACJI PRZYRZĄDÓW DO POMIARU CIŚNIEŃ

Przy doborze przyrządu do pomiaru ciśnienia należy kierować się wielkością mierzonego ciśnienia, charakterem zmian impulsów, wymaganą dokładnością pomiaru oraz warunkami pracy przyrządu. Ponadto należy się zastanowić nad sposobem reje-

stracji wyników. Do wyboru pożądanego typu manometru może posłużyć tablica 3.4. Pomiar niewielkich ciśnień wykonuje się manometrami cieczowymi z bezpośrednimi wskazaniami lub rejestracją (manometry pierścieniowe). Przy pomiarze należy pamiętać o poprawkach wskazań dla manometrów hydrostatycznych p. 3.2.2. Dodatkową wadą manometrów cieczowych jest ich bezwładność i dlatego do ciśnień szybkozmiennych zaleca się stosować ciśnieniomierze mieszkowe o odpowiednio dobranym zakresie wskazań.

3.3.1. WYTTCZNE EKSPLOATACJI CIŚNIENIOMIERZY SPRĘŻYNOWYCH

Ze względu na rozpowszechnienie tych przyrządów i odmienne wymagania, zasady ich doboru oraz eksploatacji ujęto oddzielnie.

1. W celu zabezpieczenia ciśnieniomierza przed przeciążeniem ogranicza się jego zakres pomiarowy do 75% górnej granicy zakresu wskazań przy ciśnieniach stałych i 66% przy ciśnieniach zmiennych.

|| Ciśnienie stałe (wg PN-75/M-42304) panuje wówczas, gdy jego zmiany nie przekraczają 1% zakresu wskazań ciśnieniomierza w ciągu 1 sekundy i 5% w ciągu 60 sekund.

|| Ciśnienia zmienne dopuszczają większe wahania niż dla ciśnień stałych, które nie przekraczają jednak 10% zakresu wskazań przyrządu w ciągu 1 sekundy.

Obecnie wprowadza się nowe ciśnieniomierze mające na podzielniku specjalny znak, dla których zakres pomiarowy wynosi 100% górnej granicy zakresu wskazań dla ciśnień stałych i 88% - dla ciśnień zmiennych.

2. Przy pulsacjach ciśnienia większych od zakresu wahań dla ciśnień zmiennych należy stosować amortyzatory ciśnienia wg PN-70/M-53506. Zmniejszając wpływ pulsacji amortyzatory te zwiększają bezwładność wskazań.

3. Przekraczanie nawet krótkotrwale górnej granicy zakresu pomiarowego jest niedopuszczalne.

4. Przy pomiarze ciśnień mieszczących się w dolnej części zakresu pomiarowego ciśnieniomierza, należy sprawdzić,

Tablica 3.4

Zakresy pomiarowe najczęściej spotykanych przyrządów do pomiaru ciśnienia

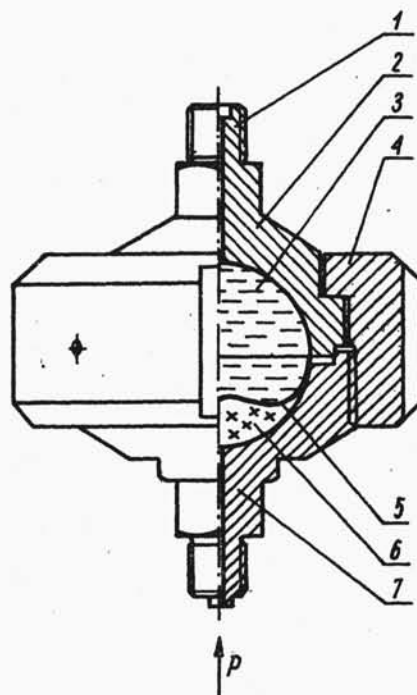
| Nazwa przyrządu | Typ | Zastosowanie ¹⁾ | Zakres pomiarowy Pa | | | | | |
|-------------------------------|-------|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | 10 | 10 ² | 10 ³ | 10 ⁴ | 10 ⁵ | 10 ⁶ |
| Manometry cieczowe: | | | | | | | | |
| Mikromanometr kompensacyjny | MK | L | | | | | | |
| Mikromanometr z rurką pochylą | MPR-4 | L | | | | | | |
| Mikromanometr bateryjny | MB-8 | L | | | | | | |
| Manometr cieczowy | MUR | L/P | | | | | | |
| Manometr pierścieniowy | MIR | L/P | | | | | | |
| Ciśnieniomierze sprężynowe: | | | | | | | | |
| ciśnieniomierz mieszkowy | | L/P | | | | | | |
| ciśnieniomierz rurkowy | | L/P | | | | | | |

1) L - do pomiarów laboratoryjnych, P - przemysłowych.

czy błąd pomiaru wynikający z klasy dokładności przyrządu nie przekracza wielkości dopuszczalnych.

5. Do pomiaru ciśnienia płynów nieobojętnych, jak: tlen, wodór, acetylen, amoniak itp. należy stosować ciśnieniomierze specjalnie przystosowane do tego celu. Rodzaj czynnika dla którego został przygotowany ciśnieniomierz podany jest na podzielniku.

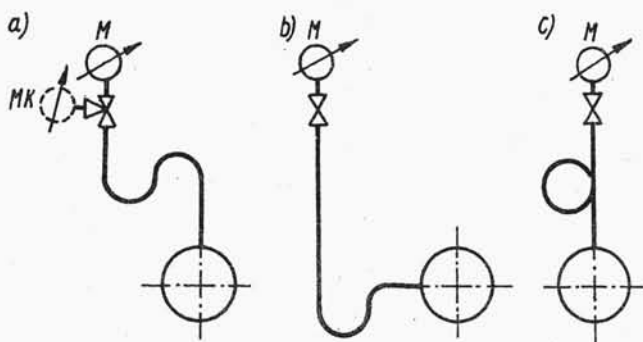
6. W przypadku braku specjalnych ciśnieniomierzy do pomiaru ciśnienia płynów agresywnych można stosować komory rozdzielcze (rys.3.18). Płyn wypełniający komorę nie powinien mieszać się z płynem agresywnym.



Rys.3.18. Schemat działania komory rozdzielczej: 1 - miejsce przyłączenia manometru, 2 - obudowa górna, 3 - płyn pośredniczący (qbojętny), 4 - nakrętka, 5 - elastyczna przepona, 6 - płyn impulsowy, 7 - obudowa dolna

7. Przy pomiarze ciśnienia tlenu należy unikać zatłuszczenia ciśnieniomierza oraz części urządzeń stykających się z tlenem, gdyż grozi to wybuchem.

8. Do pomiaru ciśnienia płynów o wysokiej temperaturze stosuje się ciśnieniomierze przyłączone za pomocą rurki syfonowej. Kształty i wymiary rurek syfonowych (rys.3.19) są znormalizowane w BN-71/8973-02 do ciśnienia maksymalnego 2,5 MPa i w PN-60/M-53505 do ciśnienia 16 MPa.



Rys.3.19. Schemat przyłączenia manometru do instalacji za pomocą rurek syfonowych:
a), b) dla rurociągów wodnych, c) dla rurociągów parowych, M - manometr, MK -manometr kontrolny

9. Przegrzanie ciśnieniomierza powoduje trwale pogorszenie właściwości elementu sprężystego i dlatego w przypadku silnego promieniowania należy oprócz rurki syfonowej stosować ekrany chroniące ciśnieniomierz przed promieniowaniem.

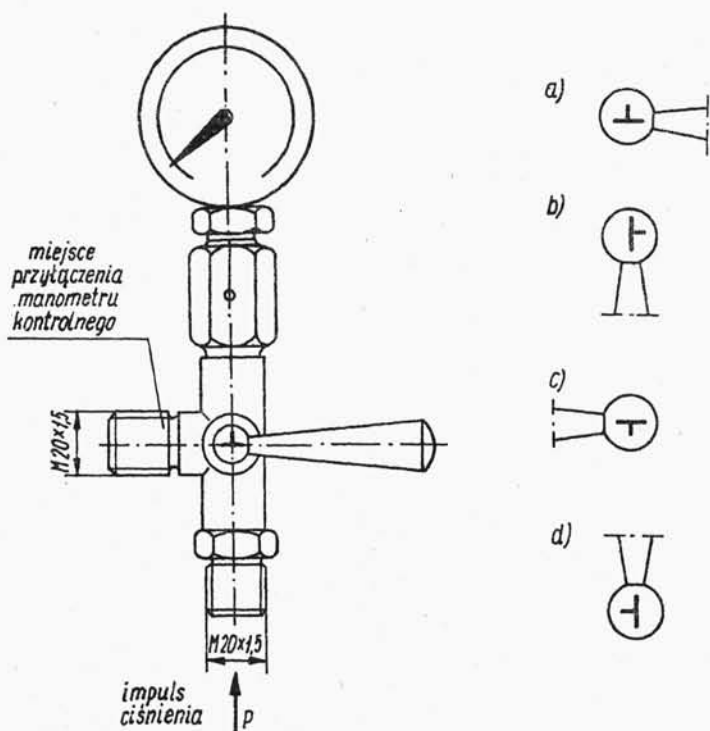
10. Przyłączenie ciśnieniomierza do rurki syfonowej dokonuje się za pośrednictwem kurków manometrycznych. Wymiary oraz typy kurków są podane w PN-74/M-42303. Schemat oraz różne położenia pracy kurka trójdrogowego pokazano na rys. 3.20.

11. Ciśnieniomierz należy przykręcać wyłącznie za pomocą klucza płaskiego założonego na sześciokąt przy końcu impulsowym.

12. Kurki manometryczne powinny być otwierane powoli, aby nie nastąpiło uderzenie hydrauliczne, które może zniszczyć przyrząd.

13. W przypadku pomiaru ciśnienia płynów lepkich i gęstych, oraz jeżeli zachodzi obawa zamarznięcia cieczy wewnątrz przyrządu, należy stosować ciśnieniomierze membranowe, które są bardziej odporne.

14. Ciśnieniomierze należy chronić przed wstrząsami przez instalowanie przyrządu z daleką od źródła drgań lub stosować egzemplarze o specjalnym wykonaniu, np. do pojazdów, pomp strażackich itp.

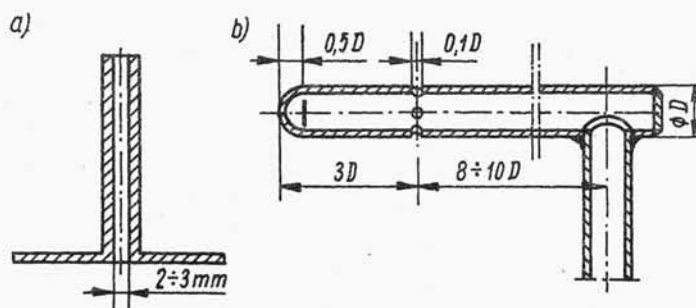


Rys. 3.20. Schemat działania manometrycznego kurka trójdrogowego: a) odłączenie przyrządu i sprawdzenie położenia zerowego, b) położenie pracy, c) sprawdzenie drożności przewodów impulsowych oraz ich odpowietrzenie, d) położenie umożliwiające porównanie wskazań z przyrządem kontrolnym

15. Należy przestrzegać okresów ważności świadectwa legalizacji (dla ciśnieniomierzy przemysłowych 3 lata). W przypadkach wątpliwych zaleca się sprawdzać wskazania ciśnieniomierza w miejscu zamontowania za pomocą ciśnieniomierza kontrolnego przykręconego do kurka trójdrogowego.

3.3.2. SPOSOBY POBORU I PRZEKAZYWANIA IMPULSU CIŚNIENIA

Przy dokładnych pomiarach impuls ciśnienia statycznego płynu w rurociągu jest pobierany za pomocą specjalnych sond. Istnieje kilka rozwiązań, a do najbardziej rozpowszechnionych należy tarczka Saire'a (rys. 3.21a). Przy pomiarze ciśnienia statycznego należy zwrócić uwagę, aby powierzchnia tarczki



Rys.3.21. Sondy do pomiaru ciśnienia statycznego:
a) tarczka Saire'a, b) sonda rurkowa

była równoległa do kierunku przepływu płynu. Jeżeli istnieje możliwość zawirowania strumienia w czasie przepływu, wówczas wykonuje się w ścianie przewodu w równych odstępach kątowych 4 lub 8 otworów o średnicy $2 \div 3$ mm. Otwory te łączy się z pierścieniową komorą wyrównawczą, której pole przekroju wewnętrznego jest większe od powierzchni otworów impulsowych (rys.8.32).

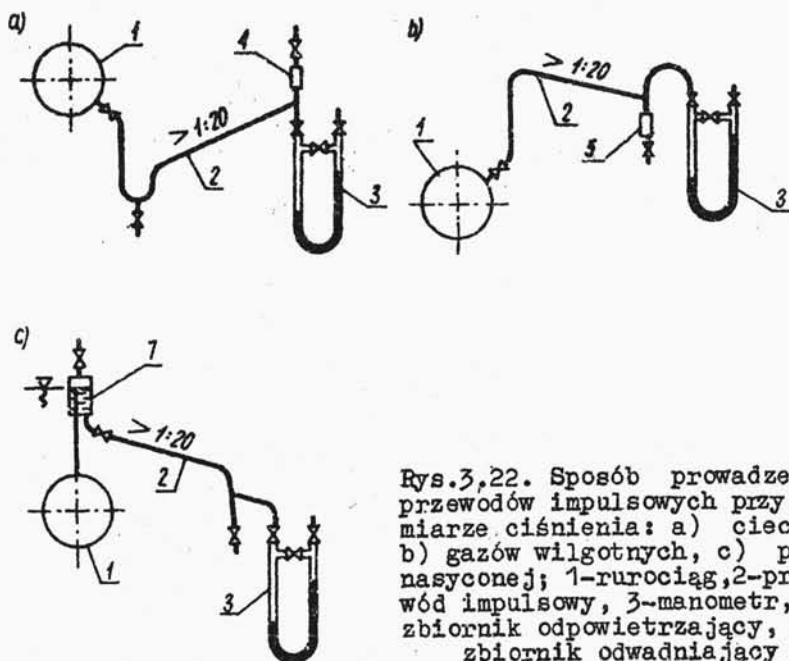
Do pomiaru ciśnienia statycznego płynu w dowolnym punkcie przekroju przewodu stosuje się sondę ciśnienia statycznego (rys.3.21) lub rurkę spiętrzającą Prandtla rys.8.31.

Przewody impulsowe

Przewody do przekazywania impulsu ciśnienia powinny być wykonane z rurki stalowej lub miedzianej, a w przypadku niskich ciśnień z węża gumowego o średnicy wewnętrznej $6 \div 12$ mm.

W celu ograniczenia bezwładności układu pomiarowego i ewentualnych strat ciśnienia zaleca się, aby długość przewodów była jak najmniejsza. Płyn wypełniający przewody impulsowe powinien znajdować się w jednym stanie skupienia i dlatego, gdy impuls przekazywany jest za pomocą cieczy, należy stosować zbiorniki odpowietrzające, zaś dla gazu wilgotnego - zbiorniki odwadniające. W przypadku gdy płynem impulsowym jest para, stosuje się naczynia poziomujące.

Przykład prowadzenia przewodów impulsowych zgodnie z PN-65/M-53950 dla cieczy, gazu wilgotnego i pary wodnej podano na rys.3.22.



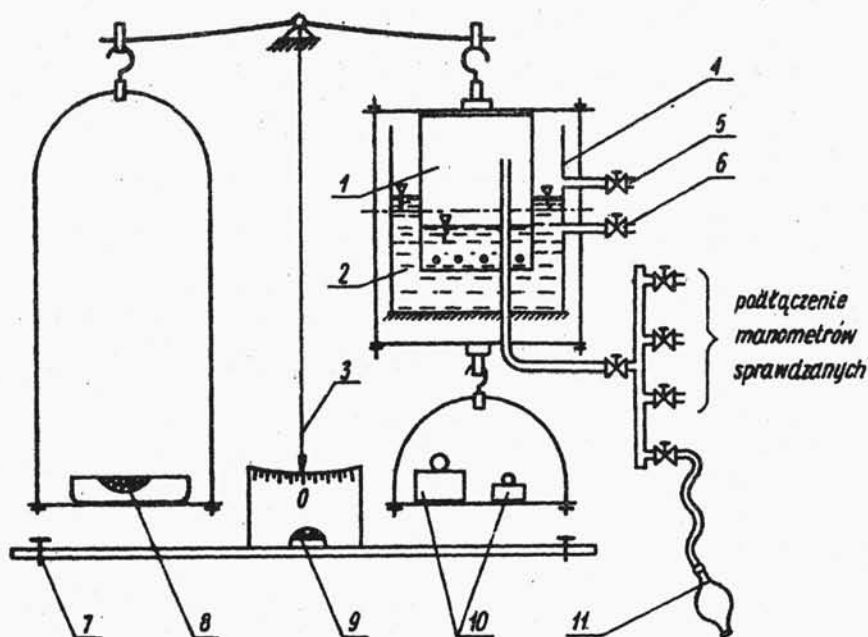
Rys.3.22. Sposób prowadzenia przewodów impulsowych przy pomiarze ciśnienia: a) cieczy, b) gazów wilgotnych, c) pary nasyconej; 1-rurociąg, 2-przewód impulsowy, 3-manometr, 4 - zbiornik odpowietrzający, 5 - zbiornik odwadniający

3.4. SPRAWDZANIE I WZORCOWANIE MANOMETRÓW CIECZOWYCH

Manometry cieczowe w zasadzie nie wymagają okresowej kontroli pod warunkiem, że są wykonane i eksploatowane zgodnie z podanymi zaleceniami. Wyjątek stanowi wzorcowanie manometru pierścieniowego. Manometry pierścieniowe po dłuższym okresie eksploatacji lub wymianie spiralnych rurek impulsowych wymagają sprawdzania poprawności wskazań. Jako przyrządów wzorcowych w zakresie do 0,2 MPa używa się manometrów hydrostatycznych, współpracujących ze specjalnymi kolumnami do wykonywania dokładnych odczytów, tzw. katetometrami. Dokładność odczytu wynosi 0,01 mm.

Manometr kontrolno-wyporowy - waga dzwonowa

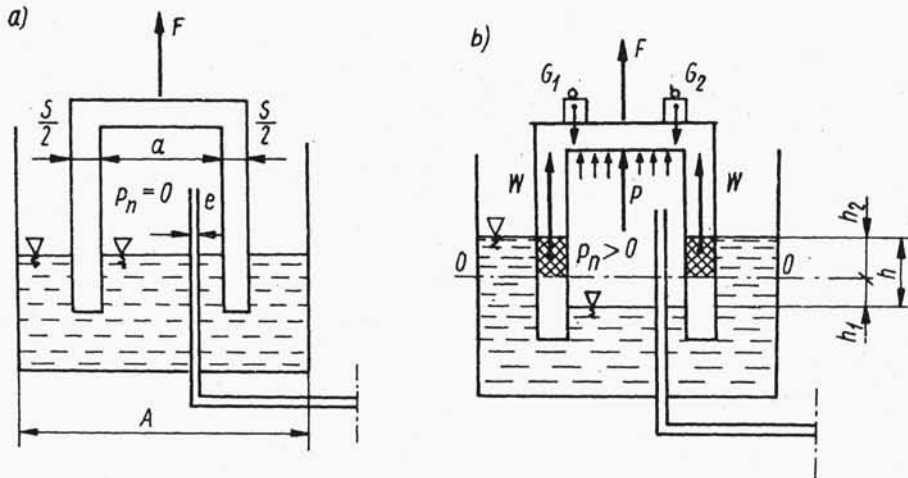
Wzorcowanie mikromanometrów wykonuje się za pomocą manometru kontrolno-wyporowego. Umożliwia on wytwarzanie podciśnienia w zakresie od 0 do 1000 Pa i nadciśnienia od 0 do 1500 Pa. Klasa dokładności tego typu przyrządów wynosi $\delta_{\max} = 0,1\%$. Schemat przyrządu przedstawiono na rys.3.23. Na jednym z ramion wagi równoramiennej zawieszony jest dzwon 1 zanurzony w cieczy manometrycznej 2 wypełniającej zbiornik 4.



Rys.3.23. Schemat ideowy manometru kontrolno-wyporowego

Zbiornik ten przymocowany jest sztywno do podstawy wagi. Przed pomiarem należy, korzystając z poziomnicy pudełkowej 9, spoziomować wagę śrubami 7. Następnie sprawdza się poziom cieczy w zbiorniku 4 i ewentualnie uzupełnia. W tym celu przestrzeń pod dzwonem łączy się z atmosferą i otwiera jeden z zaworów przeletowych 5 do pracy w zakresie podciśnienia, zaś 6 przy wytwarzaniu nadciśnienia. Gdy ciecz wypłynie z otwartego zaworu przelewowego napełnianie przerywa się, a zawór zamyka. Następną czynnością wstępną jest adiustacja wagi dzwonowej.

Czynność tę wykonuje się, gdy przyrząd ustawiony jest poziomo i pod dzwonem panuje ciśnienie atmosferyczne. Po uniesieniu belki wagi ze wsporników dokłada się tyle śrutu 8, aby wskazówka 3 przyjęła położenie zerowe. Po tych czynnościach przyrząd jest gotowy do pracy i przyłącza się wzorcowane lub sprawdzane przyrządy. W celu wytworzenia nadciśnienia ustawia się na prawej szalce odważniki 10, a następnie tłoczy powietrze pompką 11 do chwili, aż waga znajdzie się powtórnie w położeniu równowagi. Wówczas odczytuje się wskazania przyrządów i masę odważników. Przy wytwarzaniu podciśnienia odważniki ustawia się na szalce lewej, a powietrze wypompowuje spod dzwonu.



Rys.3.24. Schemat sił działających na dzwon manometru kontrolno-wyporowego

Zasada działania manometru kontrolno-wyporowego zostanie omówiona na podstawie rys.3.24. W pierwszym przypadku (rys. 3.24a) ciśnienie pod dzwonem jest równe ciśnieniu atmosferycznemu. Do utrzymania dzwonu w stanie równowagi potrzebna jest siła F . Siła ta jest równa różnicy siły ciężkości i siły wyporu, jakie działają na dzwon. Jeżeli przez doprowadzenie powietrza wytworzymy pod dzwonem nadciśnienie Δp_n , wówczas równowaga zostanie zakłócona. W celu powrotu do poprzedniego położenia konieczne jest obciążenie dzwonu dodatkowymi odważnikami o łącznej masie Δm (rys.3.24b). Ażeby położenie

dzwonu nie uległo zmianie dla dodatkowych sił musi być spełniony warunek równowagi

$$P + W - G = 0, \quad (3.31)$$

gdzie:

P - siła parcia na powierzchnię czynną dzwonu,

W - dodatkowa siła wyporu,

G - ciężar odważników.

Uwzględniając zależności określające wielkość sił składowych otrzymuje się

$$a \Delta p_n + S h_2 \rho_c g - \Delta m g = 0, \quad (3.32)$$

gdzie:

a - pole powierzchni przekroju wewnętrznego dzwonu, m^2 ,

Δp_n - nadciśnienie panujące pod dzwonem, Pa,

S - pole powierzchni ścianek dzwonu, m^2 ,

h_1 - przyrost wysokości cieczy w naczyniu, m,

ρ_c - gęstość cieczy wypełniającej manometr, kg/m^3 ,

g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ,

Δm - masa dodatkowych odważników, kg.

Zasada zachowania masy dla przypadku pokazanego na rys.

3.24b ma następującą postać

$$h_1 (a - e) \rho_c = h_2 [A - (a + S)] \rho_c, \quad (3.33)$$

gdzie:

h_2 - obniżenie poziomu cieczy wewnątrz cylindra, m,

e - pole powierzchni przekroju zewnętrznego przewodu impulsowego, m^2 .

Wielkość nadciśnienia pod dzwonem można obliczyć z zależności

$$\Delta p_n = (h_1 + h_2) \rho_c g, \quad Pa. \quad (3.34)$$

Rozwiązując układ równań (3.32), (3.33) i (3.34) otrzymuje się

$$\Delta p_n = \frac{A - S - e}{A a - a e - S e} g \Delta m, \quad Pa. \quad (3.35)$$

Iloraz $\frac{A - S - e}{Aa - ae - Se} g$ jest wielkością stałą dla danego przyrządu, zatem można napisać

$$\Delta p_n = C \Delta m, \quad Pa, \quad (3.36)$$

gdzie

$$C = \frac{A - S - e}{Aa - ae - Se} g, \quad m^{-1} s^{-2} \quad (3.37)$$

Z równania (3.35) wynika, że gęstość cieczy manometrycznej nie wpływa na wielkość wytworzonego nadciśnienia. Pozorna dowolność typu cieczy jest ograniczona względami praktycznymi. Ciecz powinna jak najmniej zwilżać ścianki dzwonu i naczynia oraz szybko z tych ścianek ściekać. W praktyce zaleca się stosować dekalinę (dziesięciowodorónaftalen $C_{10}H_{18}$) lub naftę.

Przykład

Do manometru kontrolno-wyporowego o stałej przyrządu $C = 490,333 m^{-1}$ przyłączono mikromanometr z rurką pochyłą, w celu określenia wartości jego przełożenia n . Mikromanometr napełniono alkoholem o gęstości $\rho_m = 0,809 g/cm^3$. Wyniki sprawdzania zestawiono w tablicy 3.5 - kolumny 2 oraz 4 i 5. Nadciśnienie panujące pod dzwonem określono z zależności (3.36) i wpisano do kolumny 3. Przekształcając wzór (3.15) określono wartość przełożenia mikromanometru n dla każdego z pięciu pomiarów. Średnią arytmetyczną z tych wyników można uznać za wartość przełożenia danego zakresu pomiarowego.

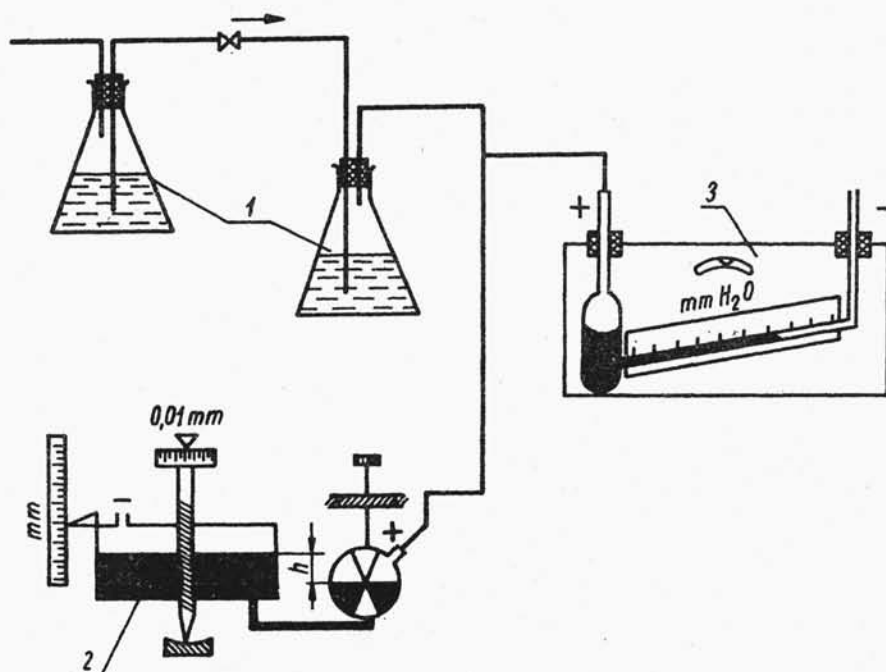
Sprawdzanie mikromanometrów technicznych, jak np. ciągomierzy, można wykonywać również za pomocą prostego układu pokazanego na rys.3.25. Do wytwarzania różnicy ciśnień stosuje się dwie butle szklane połączone przewodem z kurkiem. W czasie wykonywania odczytów kurek należy zamknąć, co zapobiega zmianom ciśnienia w układzie. Sprawdzenie polega na porównaniu odczytów z przyrządu kontrolnego wyższej klasy (np. mikromanometru kompensacyjnego) oraz przyrządu sprawdzanego (np. ciągomierza Krella).

Przy doborze przyrządów kontrolnych powinien być zachowany zawsze warunek

Tablica 3.5

Wyniki wzorcowania mikromanometru z rurką pochyłą

| Lp. | Masa odważników m | Nadciśnienie rzeczyw. Δp_n | Dł. słupka cieczy l | Początkowa dł. słupka l ₀ | Przełożenie manometru n |
|-----------------|----------------------|--|------------------------|---|----------------------------|
| | g | Pa | mm | mm | - |
| 0 | - | 0,0 | - | 2,0 | - |
| 1 | 300 | 147,1 | 39,5 | - | 1:2,02 |
| 2 | 600 | 294,2 | 76,0 | - | 1:2,00 |
| 3 | 900 | 441,3 | 114,0 | - | 1:2,01 |
| 4 | 1200 | 588,4 | 151,0 | - | 1:2,01 |
| 5 | 1500 | 735,5 | 187,5 | - | 1:2,00 |
| Wartość średnia | | | | | 1:2,008 |



Rys.3.25. Schemat stanowiska do sprawdzania mikromanometrów przemysłowych: 1 - butle do wytwarzania różnicy ciśnień, 2 - przyrząd kontrolny (mikromanometr kompensacyjny), 3 - przyrząd sprawdzany (ciągomierz Krella)

$$|\Delta_k| \leq 0,25 |\Delta_s| , \quad (3.38)$$

gdzie:

Δ_k - granica błędu dopuszczalnego przyrządu kontrolnego,

Δ_s - granica błędu dopuszczalnego przyrządu sprawdzanego.

3.5. SPRAWDZANIE CIŚNIENIOMIERZY SPRĘŻYNOWYCH

Ze względu na dokładność pomiaru ciśnieniomierze sprężynowe dzielą się na przemysłowe i kontrolne. Sposób sprawdzania ciśnieniomierzy w zależności od ich przeznaczenia i klasy dokładności ujmują przepisy wydane przez PKNiM [30], [31], [32]. W p.3.5.1 omówiono dokładnie sposób sprawdzania ciśnieniomierzy przemysłowych, zaś w p.3.5.2 - ciśnieniomierzy kontrolnych. Ponieważ w technice sanitarnej ciśnieniomierze z elementem sprężystym stosuje się zazwyczaj do pomiaru nadciśnienia, dlatego omówiono dokładnie sposób sprawdzania manometrów.

3.5.1. SPRAWDZANIE MANOMETRÓW PRZEMYSŁOWYCH (ZWYCZAJNYCH)

O KLASIE DOKŁADNOŚCI 1; 1,6; 2,5; 4 I ZAKRESIE POMIAROWYM OD 0,06 DO 6 MPa

W skład czynności wykonywanych podczas legalizacji wchodzi:

- oględziny zewnętrzne,
- sprawdzenie właściwości metrologicznych (wskazań),
- wykonanie protokołu sprawdzania,
- określenie wielkości błędów.

Oględziny zewnętrzne mają na celu sprawdzenie czy manometr jest wykonany zgodnie z obowiązującymi przepisami i aktami normalizacyjnymi. Jeżeli stwierdza się niezgodność, to przyrząd taki należy przeznaczyć do likwidacji (zbrakować).

Sprawdzenie wskazań wykonuje się drogą pomiaru tego samego ciśnienia przy użyciu dwóch przyrządów - manometru sprawdzanego i kontrolnego. Do wytwarzania określonego ciśnienia stosuje się prasy olejowe lub powietrzne. Temperatura otoczenia oraz płynu przekazującego impuls ciśnienia powinna wynosić $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ i w czasie pomiarów nie może ulegać zmianom o więcej niż $\pm 2\text{ K}$.