

4.5 Лабораторна робота «Теплові манометричні перетворювачі»

Мета роботи - вивчити принцип роботи, конструкцію, особливості експлуатації і методи розрахунку теплових манометричних перетворювачів.

Вимірювання низького вакууму проводиться методами, заснованими на простих законах фізики. Воно полягає у визначенні сили тиску газу на поверхню відомих розмірів (механічні методи) або в безпосередньому вимірі різниці висот стовпчиків який-небудь рідини в сполучених посудинах (гідростатичні методи).

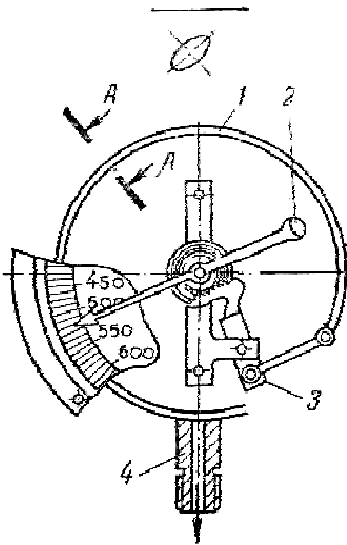


Рис. 4.2 - трубчастий манометр.

1-трубка еліптичного перерізу;
2-стрілка; 3-зубчастий сектор; 4-штуцер.

Дія механічних манометрів заснована на деформації деякої пружної перегородки, по один бік якої вимірюваний тиск, а по інший – інший тиск, найчастіше атмосферний. Різниця тисків є причиною деформації. Деформація перегородки за допомогою системи важелів приводить у рух стрілку, яка показує величину тиску на шкалі манометра (мембранні манометри, манометр з трубкою Бурдона).

Деформаційні манометри вимірюють тиск від атмосферного до 0,1 Па. Мірою тиску в деформаційних манометрах служить величина деформації чутливого елемента, що відбувається під дією прикладеної до цього елемента різниці тисків.

Одним з основних достоїнств деформаційних манометрів є незалежність їх свідчень від роду газу. У лабораторній практиці і в промисловості для вимірювання абсолютних величин тисків в широких межах від 0,1 Па (10^{-3} мм рт. ст.) до кількох атмосфер знайшли застосування деформаційні манометри трьох основних типів: трубчасті, мембранні та сильфонні.

В якості елемента, чутливого до різниці тисків, трубчастий манометр має трубку еліптичного перерізу, згорнуту в спіраль (рис. 4.2). Один кінець цієї трубки підключений до вакуумної системи за допомогою штуцера, а інший - запаяний і сполучений через системи важелів зі стрілкою. Зовнішня поверхня трубки завжди схильна до дії атмосферного тиску. Поки в трубці зберігається атмосферний тиск (різниця тисків дорівнює нулю), стрілка стоїть на нулі шкали, так як відсутня деформація трубки.

Зміна тиску в вакуумному об'ємі, до якого приєднаний манометр, викликає деформацію трубки під дією різниці тисків поза і всередині неї і, отже, поворот стрілки. Кут повороту стрілки пропорційний вимірюваній різниці тисків. Поділ шкали n , проти якого зупиняється стрілка, показує на скільки тиск у середині трубки нижче ніж атмосферний $p_{\text{пов}}$.

Тиск p в відкачуваному об'ємі буде дорівнювати:

$$p = p_{\text{пов}} - n.$$

Тобто свідчення манометра залежать від атмосферного тиску.

Принцип дії теплових манометрів заснований на залежності теплопровідності газу від тиску. При в'язкісному режимі, коли середня довжина вільного пробігу молекул значно менше розмірів камери датчика, теплопровідність не залежить від тиску. При високому вакуумі в молекулярному режимі, теплопровідність газу пропорційна тиску. У перехідному режимі передача тепла нелінійно збільшується зі зростанням тиску до постійного значення.

Найпростіша конструкція теплового манометра представляє собою скляні або металеву трубку, по осі якої натягнута нитка, що нагрівається пропусканням струму. Рівняння теплового балансу (що підводиться до нитки енергії):

$$I^2 R(1 + \beta \Delta T) = \alpha \Delta T p (T - T_0) A + \sigma \epsilon (T^4 - T_0^4) A + b \Delta T$$

де

$\alpha \Delta T p (T - T_0) A$ - потужність що відводиться через газ від нитки до корпусу лампи;

p - тиск газу в манометрі;

T - температура нитки;

T_0 - температура корпусу (приміщення);

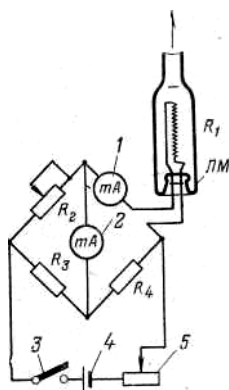


Рис. 4.3 - Схема підключення манометру опору

$\sigma (T^4 - T_0^4)$ - потужність, що розсіюється ниткою, в слідстві випромінювання;

$b\Delta T$ - потужність що відводиться через нитку та електричні вводи (для більшості випадків цією потужністю можна знехтувати);

β - температурний коефіцієнт опору (K^{-1});

α - коефіцієнт акомодатії поверхні чутливого елемента до газу ($\alpha_{Pt-H_2}=0,36$; $\alpha_{Pt-інший\ газ}=0,85$);

Δ_T - молекулярна теплопровідність газу;

A - площа поверхні чутливого елемента;

ϵ - коефіцієнт випромінювання чутливого елемента ($\epsilon_{Pt}=0,05$);

σ - постійна Стефана-Больцмана,

b - коефіцієнти пропорційності.

Добре видно що тиск p можна знайти з рівняння:

$$p = \frac{I^2 R (1 + \beta \Delta T) - \sigma \epsilon (T^4 - T_0^4) A}{\alpha \Delta_T (T - T_0) A}$$

Теплопровідність газу можна розрахувати за формулою:

$$\Delta_T = \frac{8,82 \cdot 10^{-2}}{M^{1/2}}$$

де:

M - молекулярна маса газу.

Це рівняння описує градувальну криву манометра, причому про вимір манометра можна судити як по зміні струму розжарення нитки I при постійності температур T і T_0 , так і за зміною температури нитки T при постійному струмі розжарення I .

Манометри опору. Манометрична лампа являє собою сталеву трубку, усередині якої натягнута вольфрамова нитка розжарення. Прилад для вимірювання тиску за допомогою такого датчика містить міст для вимірювання опору (рис 4.3).

Вимірювання тиску звичайно проводять при постійній температурі нитки манометричного перетворювача. При зміні тиску починає мінятися тепловідвід і, отже, температура нитки. Зменшенням струму розжарення I_n температуру нитки манометра повертають до вихідного значення і судять про тиск за значенням струму I_n , який вимірюють за допомогою міліамперметра 1.

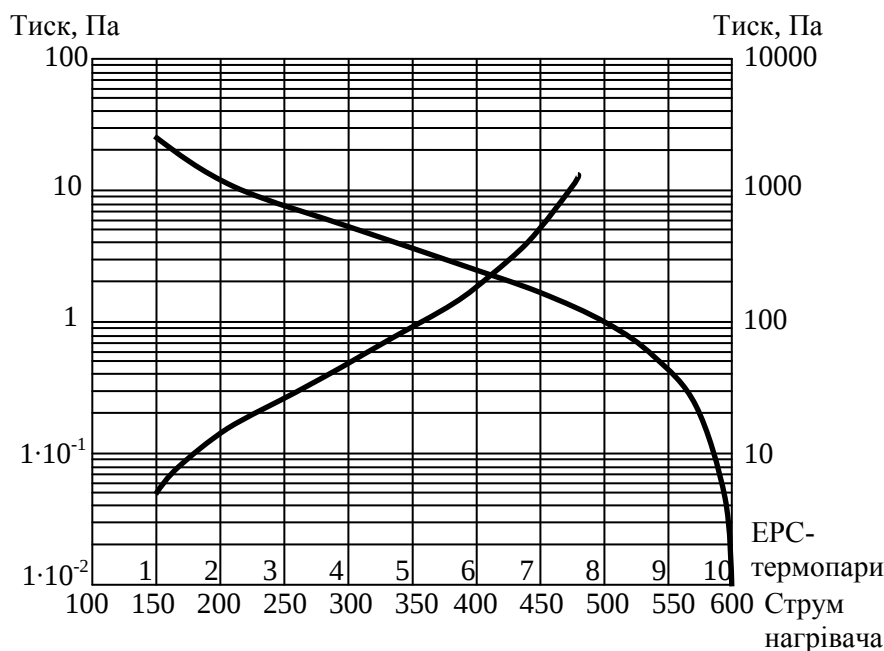
Щоб з вимірювання струму судити про тиск, манометр заздалегідь градується.

Термопарні манометри. Манометрична лампа являє собою скляний або металевий корпус, в якому на двох вводах змонтований платиновий або нікелевий підігрівач, на двох інших вводах кріпиться термопара.

Рис 4.4 - Градувальні криві манометра типу ПМТ-2 для повітря

Термопара і підігрівач зварені через перемичку. Підігрівач нагрівається струмом, який можна регулювати змінним опором і вимірювати міліамперметром. Спай термопари, що нагрівається підігрівачем, є джерелом термоЕРС, значення якої показує вольтметр універсальний.

Поки тиск у вакуумній системі дорівнює атмосферному, стрілка міліамперметра при заданому, для даної манометричної лампи, струмі розжарення I_n залишається поблизу нуля. При зниженні тиску в системі стрілка починає переміщатися в сторону збільшення термоЕРС, тому що



зі зменшенням тиску зменшується теплопровідність газу і, отже, підвищується температура перемички. Точність вимірювання тиску термопарних манометрів істотно залежить від правильного підбору струму розжарювання підігрівача.

Струм підігрівача можна визначити для нової лампи доки вона запаяна або при відкачуванні датчика до тиску $p < 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па.

За цих тисків тепловідвід через газ від нагрівача знехтувально малий і вся потужність, що підводиться витрачається на випромінювання (63%) і тепловідвід по проводах (37%). Струм підігрівача підбирають таким чином, щоб стрілка вольтметра точно співпадала з останнім поділом шкали; при цьому свідчення міліамперметра будуть відповідати робочому току підігрівача.

Теплові перетворювачі є приладами непрямого вимірювання тиску; їх градувальні криві різні для різних газів.

Градувальні криві манометра типу ПМТ-2 для повітря показані на рисунку 4.4.

Принцип роботи гідростатичних перетворювачів: рідинних U-образних та компресійних манометрів описаний в літературі [1,2].

Завдання та контрольні запитання:

- розглянути загальну класифікацію методів і приладів для вимірювання низьких тисків, ознайомитися з принципом дії механічних і гідростатичних перетворювачів;
- вивчити принцип дії, конструкції і режими роботи теплових манометричних перетворювачів;
- вивчити блок схеми вакуумметрів, зазначених викладачем;
- зробити калібрування термопарного манометричного перетворювача ПМТ-2, виміряти тиск у вакуумній камері;
- оцінити нижню та верхню межі вимірюваного тиску повітря і газу, зазначеного в табл. 4.4, для асиметричного теплового манометра опору, що має платинову робочу нитку діаметром d

та довжиною L , укріплену в циліндричному корпусі діаметром D на молібденових тримачах діаметром 0,5 мм і довжиною 30 мм. Температура корпусу підтримується на рівні 300 К, а струм, що протікає по нитці, дорівнює I_n . Побудувати залежності температури нитки від тиску газів при постійному струмі I_n .

Таблиця 4.4 - Вихідні дані до лабораторної роботи 4.5

Вар.	Газ	Діаметр d , мкм	Довжина L , мм	Діаметр D ,мм	Струм I_n , мА
1	H ₂	20	150	10	60
2	He	30	140	15	90
3	Ar	40	130	20	100
4	Ne	50	120	25	110
5	O ₂	60	110	10	120
6	CH ₄	70	100	15	130
7	CO ₂	80	150	20	140
8	H ₂	90	140	25	150
9	He	100	130	10	80
10	Ar	20	120	15	90
11	Ne	30	110	20	100
12	O ₂	40	100	25	110
13	Ch ₄	50	150	10	120
14	CO ₂	60	140	15	130
15	H ₂	70	130	20	140

Контрольні запитання

- 1 Як працює термопарний перетворювач?
- 2 Чи загрожує роботі теплового перетворювача прорив повітря до робочого об'єму?
3. Чому градувальні криві теплового перетворювача різні для різних газів?
4. Як позначається термопарний перетворювач на схемах вакуумних систем відповідно до ДСТУ?