

ЛЕКЦІЯ 4

Вимірювання тиску

Тиском називають відношення сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні. Тиск - одна з основних величин, що визначає термодинамічний стан речовин [3]. Тиском багато в чому визначається хід технологічного процесу, стан технологічних апаратів і режими їх функціонування. Із завданням вимірювання тиску доводиться стикатися при вимірюваннях певних технологічних параметрів, наприклад витрати газу або пари, при термодинамічних параметрах, що змінюються, рівня рідини та ін.

Розрізняють такі основні види тиску: *атмосферний, абсолютний, надлишковий і вакуум (розрідження)*.

Атмосферний (барометричний) тиск (P_{δ}) – тиск, створюваний масою повітряного стовпа земної атмосфери. Він має змінне значення, що залежить від висоти місцевості над рівнем моря, географічної широти і метеорологічних умов (погоди).

Надлишковий тиск (P) – різниця між абсолютним і барометричним тисками.

Абсолютний тиск (P_a) – тиск, відлічений від абсолютного нуля. За початок відліку абсолютного тиску беруть тиск усередині посудини, з якої повністю видалене повітря. Абсолютний тиск P_a середовища може бути більшим або меншим атмосферного. У першому випадку абсолютний тиск дорівнює сумі атмосферного і надлишкового тисків:

$$P_a = P_{\delta} + P. \quad (3.2)$$

У другому випадку абсолютний тиск менше атмосферного на величину вакуумметричного тиску, тобто

$$P_a = P_{\delta} - P. \quad (3.3)$$

В окремому випадку, коли P або P_{δ} дорівнює нулю, абсолютний тиск дорівнює атмосферному.

Вакуум (розрідження) (P_v) – різниця між барометричним і абсолютним тисками. Іноді вакуумметричний тиск виражають у вигляді відносної величини V у відсотках атмосферного тиску:

$$V = \frac{P_{\delta}}{P_{\delta}} \cdot 100. \quad (3.4)$$

Статичний тиск (P_c) потоку може бути надлишковим або вакуумметричним, в окремому випадку він може дорівнювати атмосферному.

Повний тиск середовища, що рухається (P_{II}), складається зі статичного (P_c) і динамічного (P_d) тисків:

$$P_{II} = P_c + P_d. \quad (3.5)$$

Динамічний тиск (P_d) (Па), що залежить від швидкості потоку (швидкісний напір) для рідини, а також для газу і пари при помірних швидкостях, визначається за формулою

$$P_d = \frac{v^2 \cdot \rho}{2}, \quad (3.6)$$

де v – швидкість руху речовини, м/с;

ρ – густина речовини, кг/м³.

У Міжнародній системі одиниць (SI) за одиницю тиску береться *Паскаль* (Па) – тиск, створюваний силою в 1 ньютон (Н), рівномірно розподіленої по поверхні площею 1 м² і спрямованої нормально до неї.

Несистемна одиниця тиску (1 кгс/см²) дорівнює тиску на площу 1 см² сили в 1 кгс, де 1 кгс – сила, що надає масі в 1 кг нормального прискорення вільного падіння в 9,81 м/с². Одиниця тиску системи МКГСС (метр, кілограм-сила, секунда) дорівнює 1 кгс/м².

У рідинних приладах з водяним або ртутним заповненням скляних трубок вимірювання тиску виконується в міліметрах водяного або ртутного стовпа (мм вод.ст. або мм рт.ст.). Значення, вимірювані в цих одиницях, звичайно відносять до нормального прискорення вільного падіння тіл і нормальної температури, що дорівнює для води 4°C і ртуті 0°C. Незаважко встановити, що тиск в 1 мм.вод.ст. дорівнює тиску в 1 кгс/м².

Несистемна одиниця тиску – бар дорівнює тиску 1·10⁵ Па, або 1,01972 кгс/см². Ця одиниця зручна у тому відношенні, що числа, що виражають тиск у барах і кгс/см², відрізняються між собою не більше ніж на 2%.

Через те, що зазначені одиниці – кгс/см², мм вод.ст., мм рт.ст. і бар – у цей час дістали поширення, вони тимчасово допускаються до застосування поряд з одиницями системи SI.

В англійських мірах одиницею тиску є 1 англ. фунт-сила (4,45 Н) на 1 кв. дюйм, дорівнює 6890 Па (0,645·10⁻³ м²).

Співвідношення між одиницею тиску системи SI і колишніми наведені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 - Співвідношення між одиницями тиску

| Одиниця тиску | Па | бар | кгс/см ² | кгс/м ² | мм рт. ст. |
|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Па | - | 1×10 ⁻⁵ | 10,2×10 ⁻⁶ | 0,102 | 7,5×10 ⁻³ |
| бар | 1×10 ⁵ | - | 1,02 | 10,2×10 ³ | 750 |
| кгс/см ² | 98,1×10 ³ | 0,981 | - | 1×10 ⁴ | 735,6 |

| | | | | | |
|--------------------|-------|------------------------|-----------------------|------|------------------------|
| кгс/м ² | 9,81 | 98,1×10 ⁻⁶ | 1,10 ⁻⁴ | - | 73,56×10 ⁻³ |
| мм рт. ст. | 133,3 | 1,333×10 ⁻³ | 1,36×10 ⁻³ | 13,6 | - |

Для наближеного перелічення тиску, вираженого в кгс/см² і кгс/м², і у тиску, вираженому відповідно в МПа і Па, необхідно в першому випадку числове значення зменшити в 10 разів, а в другому – збільшити в 10 разів. Так, наприклад, тиск у 100 кгс/см² відповідає тиску в 10 МПа, а тиск у 100 кгс/м² – тиску в 1000 Па.

Засоби вимірювання тиску класифікують за видом вимірювального тиску і принципом дії. За видом вимірювального тиску засоби вимірювання поділяють на такі:

- **манометри надлишкового тиску** – для вимірювання надлишкового тиску;
- **манометри абсолютного тиску** – для вимірювання тиску, відліченого від абсолютного нуля;
- **барометри** – для вимірювання атмосферного тиску. Барометри поділяють на *ртутні* і *мембранні*;
- **вакуумметри** – для вимірювання вакууму (розрідження);
- **мановакуумметри** – для вимірювання надлишкового тиску і вакууму (розрідження).

Крім перелічених засобів вимірювання у практиці вимірювання дістали поширення:

- **напороміри** – манометри малих надлишкових тисків (до 40 кПа);
- **тягоміри** – вакуумметри з верхньою межею вимірювання не більше 40 кПа;
- **тягонапороміри** – мановакуумметри з діапазоном вимірювання від плюс 20 до мінус 20 кПа;
- **вакуумметри залишкового тиску** – вакуумметри, призначені для вимірювання глибокого вакууму або залишкового тиску, тобто абсолютних тисків менше 200 Па;

диференційні манометри – прилади вимірювання різниці тисків.

За принципом дії засоби вимірювання тиску поділяють на такі: **рідинні, поршневі, деформаційні (пружинні), іонізаційні, теплові, електричні**. Така кваліфікація не є вичерпною і може бути доповнена засобами вимірювання, заснованими на інших фізичних явищах.

Найбільша кількість приладів, які застосовуються для вимірювання тиску, є манометрами надлишкового тиску. У цей час існує великий парк приладів вимірювання тиску, що дозволяє здійснювати вимірювання тиску в діапазоні 10⁻¹² – 10¹¹Па.

Установлення і виправлення до показань рідинних манометрів. На точність вимірювання тиску за допомогою рідинних манометрів впливають правильність установлення приладу, відлік висоти стовпа і визначення густини зрівноважувальної рідини.

Щоб уникнути перекручування результатів вимірювання, рідинні манометри закріплюються у вертикальному положенні за рівнем в місцях, не підданих вібрації і нагріванню, і які перебувають поблизу місця відбору тиску.

Якщо манометр установлений вище або нижче місця відбору тиску, а сполучна лінія і простір над рідиною в плюсовій вимірювальній трубці або посудині заповнені іншою, більш легкою рідиною (наприклад, водою при вимірюванні ртутним манометром тиску води або пари), необхідно до показань приладу вводити виправлення, що враховує тиск, який створюється стовпом цієї рідини.

Абсолютна похибка вимірювання, що залежить від правильності відліку висоти стовпа рідини незброєним оком, звичайно становить $\pm(0,5-1)$ мм. Застосування оптичних пристосувань (візуалізаторів) помітно зменшує цю похибку.

3.3.1 Деформаційні прилади для вимірювання тиску

Висока точність, простота конструкції, надійність і низька вартість є основними факторами, що обумовлюють велике поширення деформаційних приладів для вимірювання тиску в промисловості і наукових дослідженнях [3].

Досить поширеним видом деформаційних приладів, які використовуються для визначення надлишкового тиску, є *трубчастопружинні манометри*, що відіграють винятково важливу роль у технічних вимірюваннях. Ці манометри виготовляються з одновитковою трубчастою пружиною, що являє собою вигнуту по колу металеву пружну трубку овального перетину. Під дією вимірювального тиску усередині трубки вона частково розкручується внаслідок деформації її перетину, що прагне набрати форми кола.

Вимірювальні прилади з одновитковою трубчастою пружиною призначені для вимірювання надлишкового тиску і розрідження неагресивних рідких і газоподібних середовищ. Прилади цього типу випускаються тільки показуючими у звичайному, вібростійкому, антикорозійному, вогне- і вибухозахищеному виконаннях.

Однією з основних характеристик деформаційного чутливого елемента зазначених приладів є залежність переміщення δ робочої точки від діючого тиску P або різниці тисків. Ця характеристика $\delta=f(P)$, яка називається статичною, може бути лінійною або нелінійною. Хід статичної характеристики в межах пружної деформації неоднозначний і утворює петлю гістерезису. Значення гістерезису визначає систематичну похибку деформаційних засобів вимірювання.

Крім відзначеного недоліку, чутливі елементи мають властивість пружної післядії, суть якого полягає в тому, що після припинення зміни тиску деформація продовжує зменшуватися, асимптотично наближаючись до межового значення. Поряд із пружною післядією при експлуатації чутливих елементів має місце залишкова деформація, яка полягає в тому, що після

зняття тиску чутливий елемент не повертається у вихідне положення. При багаторазових вимірюваннях залишкова деформація накопичується, що приводить до значних похибок [3].

Викладені особливості деформаційних чутливих елементів пояснюють той факт, що для технічних манометрів верхня межа вимірювання обмежується половиною тиску, що відповідає межі пропорційності статичної характеристики, у той час як для зразкових приладів межа вимірювання обмежується четвертою частиною тиску, що відповідає межі пропорційності.

Для передачі переміщення вільного кінця деформаційного чутливого елемента до покажчика манометра приєднані секторні і важільні передавальні механізми. За допомогою передавального механізму переміщення вільного кінця трубчастої пружини в кілька градусів або міліметрів перетвориться в кутове переміщення стрілки на $270 - 300^\circ$.

Важільний передавальний механізм застосовується в тих випадках, коли від манометра не потрібна висока точність вимірювання і він зазнає вібрації. Секторний передавальний механізм застосовується в зразкових приладах і в приладах, де за умовами експлуатації виключена вібрація.

На рис.3.7 показана конструкція манометра із секторним передавальним механізмом. Прилад складається із трубчастої пружини 5, один кінець якої впаяний в отвір утримувача 1, а інший (рухливий) кінець наглухо запаяний і несе на собі наконечник 10. Порожнина пружини пов'язана з вимірювальним середовищем через канал в утримувачі 1, об'єднаному з радіальним штуцером 14. Утримувач приладу оснащений платою 2, на якій монтується трибкосекторний механізм.

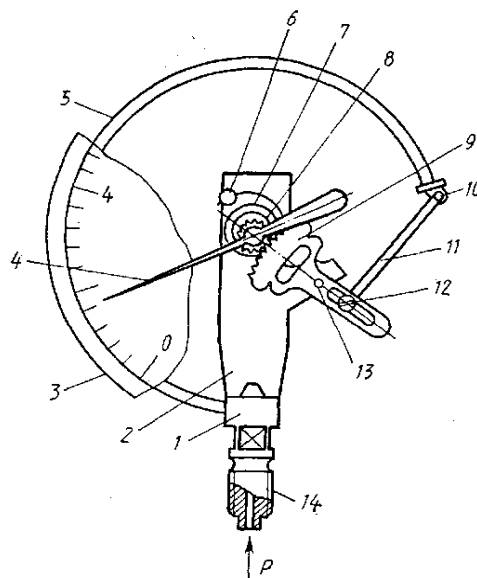


Рисунок 3.7 – Схема манометра з одновитковою трубчастою пружиною

Останній включає зубчасте колесо (трибку) 8 і зубчастий сектор 9. Для виключення люфту в передавальному механізмі використовується спіральна пружина 7, один кінець якої за допомогою штифта кріпиться на осі трибки, а інший - до колонки 6, укріпленої на платі 2. До хвостовика сектора 9 за

допомогою гвинта 12 кріпиться тяга 11. За допомогою тяги переміщення вільного кінця пружини передається зубчастому сектору, що має вісь обертання 13. Обертання зубчастого сектора передається на трибку, на осі якої насаджена стрілка 4 для відліку показань на шкалі 3. Шкала манометра рівномірна, тому що переміщення вільного кінця пружини пропорційне вимірювальному тиску. Регулювання ходу стрілки проводиться гвинтом 12.

Вакуумметр із одновитковою трубчастою пружиною конструктивно ідентичний розглянутому манометру. Відмінність полягає тільки у шкалі і напрямку переміщення стрілки. У вакуумметрах переміщення стрілки може відбуватися як за годинниковою стрілкою, так і проти. Відмінною рисою мановакуумметра є шкала, що виконується з нулем у середній частині. Шкала, розміщена ліворуч від нуля, служить для вимірювання вакууму, а шкала, розміщена праворуч, - для вимірювання надлишкового тиску.

Діапазони вимірювання манометрів від 0–0,1 МПа до 0–103 МПа; вакуумметрів – від - 0,1 до 0 МПа. Класи точності приладів: 0,4(0,5); 0,6; 1,0; 1,5(1,6); 2,5; 4,0.

Поряд з розглянутими приладами, оснащеними однаковою трубчастою пружиною, у практиці вимірювання тиску і розрідження дістали великого поширення манометри і вакуумметри, оснащеними електроконтактними сигналізуючими пристроями. Ці засоби вимірювання тиску мають назву **електроконтактних** [3]. Клас точності електроконтактних манометрів і вакуумметрів 1,5. Похибка спрацьованості сигналізуючого пристрою $\pm 2,5\%$.

Загальний вигляд манометра-сигналізатора електроконтактного типу показаний на рис.3.8. Прилад містить вказівну стрілку 1, сигнальні (мінімального і максимального тиску) стрілки 2 і 3, які встановлюються на задані значення тисків за допомогою ключа, і коробку 4 із затискачами для приєднання до приладу ланцюга сигналізації. Механізм манометра вмонтований у корпус 5. Прилад контактує з вимірювальним середовищем через штуцер 6.

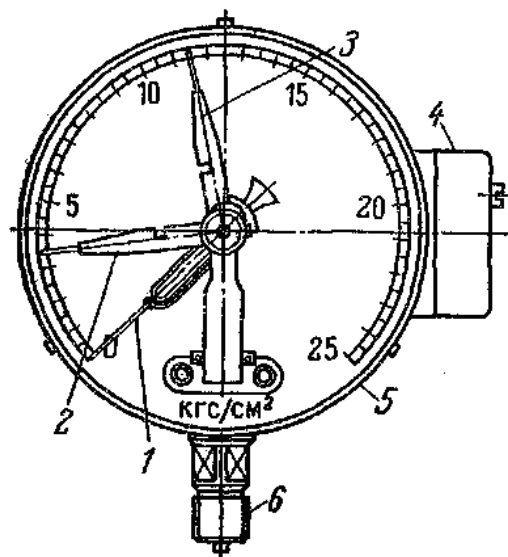


Рисунок 3.8 – Манометр- сигналізатор

При досягненні кожного із заданих граничних тисків контакт, пов'язаний із вказівною стрілкою, стикається з контактом, розміщеним на відповідній сигнальній стрілці, і замикає ланцюг сигналізації. Зазначені манометри придатні для вимірювання плавно змінюючих тисків. Контактний пристрій їх живиться від мережі постійного або змінного струму напругою 220 В. Розривна потужність контактів 10 В·А [3].

Вимірювальні прилади із *сильфонним чутливим елементом*. Прилади цього типу призначені для вимірювання надлишкового тиску, розрідження і різниці тисків. Їх виконують показуючими і самописними. Схема самописного сильфонного манометра показана на рис.3.9.

Вимірювальний тиск через штуцер 11 подається в камеру 10, де розміщений деформаційний чутливий елемент – сильфон 9. Для збільшення твердості сильфона всередині нього розміщена гвинтова пружина 8. Під дією тиску сильфон деформується, і дно його піднімає шток 7, жорстко з'єднаний із двоплечим важелем 6, останній через систему важелів 5, 4, 3 повертає вісь 12 і укріплений на ній П-подібний важіль 2. До П-подібного важеля прикріплена стрілка 1 з пером. Запис вимірювального тиску виконується на дисковій діаграмі, привід якої здійснюється за допомогою синхронного двигуна або годинникового механізму. Верхня межа вимірювання сильфонних приладів обмежена тисками 0,025-0,4 МПа. Класи точності сильфонних манометрів надлишкового тиску, вакуумметрів і мановакуумметрів 1,5; 2,5.

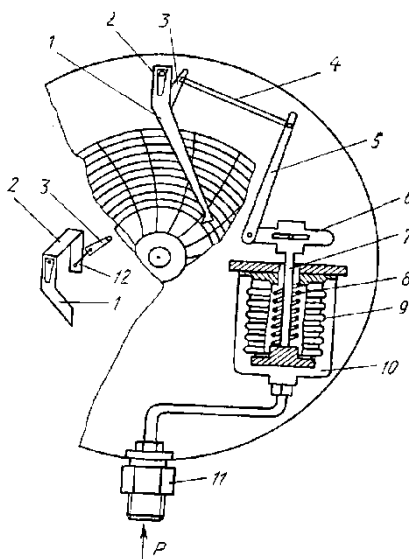


Рисунок 3.9 — Схема самописного сильфонного манометра

Для вимірювання різниці тисків і витрати рідких і газоподібних середовищ широкого застосування набули *сильфонні дифманометри*. Граничні номінальні перепади тисків становлять 0,0063–0,25 МПа. Граничний припустимий робочий надлишковий тиск 6,3, 16 і 32 МПа. Класи точності сильфонних показуючих і самописних дифманометрів 1,0 і 1,5.

Зразкові манометри типу МО (рис.3.10) застосовуються для перевірки промислових манометрів, а також для виконання точного вимірювання тиску в лабораторних установках. Прилади мають трубчасту пружину і зубчасто-секторний передавальний механізм, розміщені в металевому корпусі

діаметром 160 або 250 мм. У зразкових манометрах застосовується пружина високої якості і ретельно виконаний передавальний механізм. Прилади випускаються з кінцевим значенням шкали 1-600 кгс/см². Шкала має 100 умовних поділок із цифровими поділками через кожні 5 поділок. Для переведення умовних поділок у кгс/см² зразкові манометри забезпечуються перевідною таблицею або графіком. Кінцеве значення тиску зазначається на циферблаті приладу. Клас точності манометрів діаметром 250 мм – 0,16 і 0,25, а діаметром 160 мм – 0,4. Користування приладами допускається при температурі навколишнього повітря 10-35°С і відносній вологості до 80%.

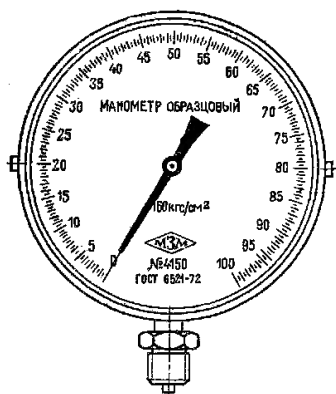


Рисунок 3.10 – Зразковий манометр типу МО

Вимірювальні прилади з мембранним чутливим елементом. Ці прилади призначені для вимірювання атмосферного і надлишкового тисків і розрідження. Через малі зусилля, що розвиваються деформаційним чутливим елементом, мембранні прилади випускаються в основному показуючими. Принцип дії приладів полягає в перетворенні вимірювального тиску або розрідження в переміщення твердого центра мембранного чутливого елемента, що за допомогою передатного трибкосекторного механізму перетворюється в обертний рух покажчика. Максимальний діапазон вимірювання мембранних манометрів 0-2,5 МПа, вакууметрів – від -0,1 до 0 МПа. Класи точності приладів 1,5 і 2,5. Крім розглянутих приладів, випускаються мембранні тягоміри, напороміри і тягонапороміри класів точності 1,5; 2,5.

3.3.2 Встановлення і обслуговування деформаційних трубчасто-пружинних манометрів

При виборі манометра керуються насамперед необхідною точністю показань з огляду на особливості приладу і умови вимірювання. Виходячи з надійності роботи манометра, кінцеве значення шкали вибирається з таким розрахунком, щоб воно перевищувало вимірювальну величину при постійному тиску або плавно змінюючому тиску в 1,5 раза, а при змінному - в

2 рази. В обох випадках мінімальний вимірювальний тиск не повинен бути меншим $1/3$ кінцевого значення шкали [3].

Показання трубчасто-пружинного манометра залежать від температури чутливого елемента, тому установлення приладу виконується таким чином, щоб по можливості виключити вплив на нього температури вимірювального і навколишнього середовища. Температура повітря, що оточує прилад, не повинна перевищувати 40°C , тому манометри не можна встановлювати біля сильно нагрітих поверхонь. При установленні манометра безпосередньо в місцях вимірювання тиску пари або гарячої води для захисту приладу від надмірного нагрівання на сполучній лінії перед ним установлюється кільцева або U-подібна сифонна трубка, що утворить гідравлічний затвор з остиглої рідини.

Для установлення манометра при робочому тиску середовища до $2,5\text{ МПа}$ застосовується триходовий пробковий кран, а вище – триходовий вентиль. Іноді в сполучній лінії розміщуються два вентилі: один для відключення приладу, а інший – для з'єднання його з атмосферою. Загальний вигляд установки показуючого манометра на паропроводі високого тиску наведений на рис.3.11.

Манометр 1 угвинчується штуцером у триходовий вентиль 2, з'єднаний з кільцевою сифонною трубкою 3, яка приварена до стінки труби 4. Права частина вентиля служить для включення манометра, а ліва – для продувки сифонної трубки, висота до якої береться не менше 350 мм .

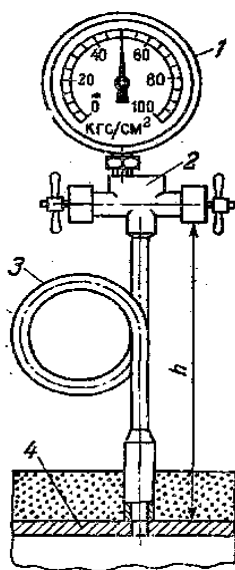


Рисунок 3.11 – Установлення манометра

У випадку застосування триходового крана манометр може бути з'єднаний з вимірювальним середовищем, а для відключення приладу або перевірки нульової поділки шкали – з атмосферою. За допомогою цього ж крана здійснюється періодична продувка сполучної лінії. Напрямок каналів у пробці крана зазначено на торці рукоятки рисками.

Деформаційні манометри повинні встановлюватися в місцях, що не зазнають вібрації і поштовхів, що шкодить роботі і стану приладів. Самописні манометри встановлюються строго вертикально.

З міркувань обмеження запізнювання показань довжина сполучної лінії до манометра звичайно не перевищує 50 м. Внутрішній діаметр мідної або сталевий трубки сполучної лінії вибирається в межах 3-15 мм залежно від її довжини. Сполучна лінія повинна бути щільною і прокладатися за найкоротшою відстанню з нахилом 0,1 до встановлюваного манометра вище місця відбору тиску при вимірюванні тиску газу і нижче – при вимірюванні тиску рідини і пари. Якщо зазначене устанавлення манометрів неможливе, то при вимірюванні тиску газу в нижніх точках сполучної лінії застосовуються відстійні посудини, а при вимірюванні тиску рідини і пари у верхніх точках – газозбірники. Вигини лінії повинні бути плавними. Температура середовища в лінії перед манометром повинна дорівнювати температурі навколишнього повітря. Як ущільнювальні прокладки при устанавленні манометрів служать пароніт (до 6 МПа) і відпалена червона мідь (понад 6 МПа).

3.3.3 Правила вимірювання трубчасто-пружинними манометрами

Вмикання і вимикання манометрів варто робити повільно, щоб уникнути пошкодження передавального механізму. Для запобігання у чутливому елементі появи залишкової деформації не можна допускати перевищення вимірювальним тиском кінцевого значення шкали [3].

Вимірювання швидко змінного тиску, наприклад після насосів, компресорів і т.п. спричиняє сильне зношування передавального механізму манометрів і утрудняє правильний відлік показань, тому для зменшення коливань вказівної стрілки в сполучній лінії встановлюють заспокійливі бачки або частково прикривають триходовий кран або вентиль.

Залежно від необхідної точності вимірювання до показань деформаційних манометрів вводяться в загальному випадку такі поправки:

- *основна* – визначається за паспортом манометра;
- *на розміщення манометра щодо місця відбору тиску* (якщо сполучна лінія заповнена рідиною) - залежить від висоти стовпа рідини в сполучній лінії і якщо буде потреба, вводиться так само, як і при вимірюванні тиску рідинними манометрами;

- *на температуру приладу* - збільшення температури манометра вище нормальної змінює його показання убік завищення вимірювального тиску. Для точного визначення виправлення на температуру приладу необхідно знати його температурний коефіцієнт, значення якого для різних типів манометрів коливається в широких межах. Приблизно можна взяти, що додаткова похибка трубчасто-пружинного манометра становить $\pm 0,4\%$ при відхиленні температури навколишнього повітря на кожні $\pm 10^\circ\text{C}$ від значення $20 \pm 5^\circ\text{C}$ у

діапазоні температур 0-60°C.

3.3.4 Деформаційні вимірювальні перетворювачі тиску прямого перетворення

Вимірювальні перетворювачі тиску, які випускаються у даний час, засновані на методі прямого перетворення, розрізняються як видом деформаційного чутливого елемента, так і способом перетворення його переміщення або зусилля, яке розвивається ним, у сигнал вимірювальної інформації. Для перетворення переміщення чутливого елемента в сигнали вимірювальної інформації широко застосовуються **індуктивні, диференціально-трансформаторні, ємнісні, тензорезисторні** і інші перетворювальні елементи. Перетворення зусилля, яке розвивається чутливим елементом, у сигнали вимірювальної інформації здійснюється п'єзоелектричними перетворювальними елементами.

Індуктивні вимірювальні перетворювачі тиску. На рис.3.12 а показана схема вимірювального перетворювача тиску, оснащеного перетворювальним елементом індуктивного типу. Мембрана 1, що сприймає тиск, є рухливим якорем електромагніта 2 з обмоткою 3. Під дією вимірювального тиску мембрана 1 переміщується, що викликає зміну електричного опору індуктивного перетворювального елемента.

Диференціально-трансформаторні вимірювальні перетворювачі тиску. Вимірювальний перетворювач тиску диференціально-трансформаторного (ДТ) типу (рис.3.12 б) містить деформаційний чутливий елемент 1 і ДТ-елемент 2. Перетворювальний елемент являє собою каркас із діелектрика, на якому розміщені котушка з первинною обмоткою 7, що складається із двох секцій, відповідно намотаних, і двох секцій 4, вторинних обмоток 5, увімкнених зустрічно. У середині каналу котушки розміщене рухоме осердя 6 з магнітом'якого матеріалу, пов'язане із пружиною 1 тягою 3.

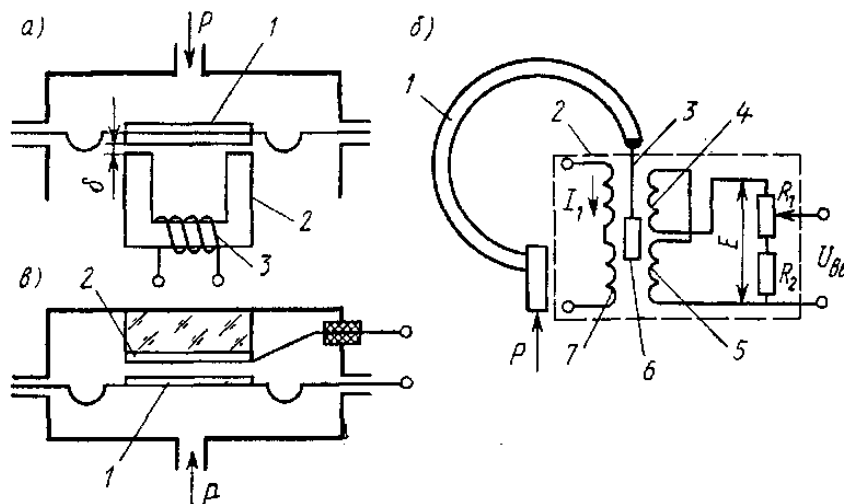


Рисунок 3.12 – Схеми вимірювальних перетворювачів тиску

Шляхом зміни регульованого опору R_1 можна змінювати межі вимірювання на $\pm 25\%$. Формування вихідного сигналу ДТ-елемента здійснюється в такий спосіб. При проходженні по первинних обмотках струму виникають магнітні потоки, що пронизують обидві секції вторинної обмотки та індукують в них ЕРС. Значення цього ЕРС пов'язані із взаємними індуктивностями між первинною обмоткою і кожною із секцій вторинної обмотки [3].

Перетворення вимірювального тиску в електричні сигнали розглянутим перетворювачем тиску здійснюється шляхом перетворення тиску в деформацію (переміщення) чутливого елемента, жорстко з'єданого із осердям 6, і наступного перетворення переміщення осердя 6 в електричний сигнал ДТ-елементом. Класи точності 1,0 і 1,5.

Для вимірювання перепаду тисків розроблені *мембранні дифманометри* із ДТ-елементом, що здійснює перетворення переміщення мембранного блока в сигнал вимірювальної інформації. Класи точності перетворювачів перепаду тиску 1,0 і 1,5. Час установлення вихідних сигналів не більше 1 с.

Ємнісні вимірювальні перетворювачі тиску. Схема вимірювального перетворювача тиску, оснащеного ємнісним перетворювальним елементом, наведена на рис.3.12 в. Вимірювальний тиск сприймається металевою мембраною 1, що є рухливим електродом ємнісного перетворювального елемента. Нерухомий електрод 2 ізолюється від корпусу за допомогою кварцових ізоляторів. За залежністю ємності C перетворювального елемента від переміщення δ мембрани 1 вимірюється величина тиску.

Тензорезисторні вимірювальні перетворювачі тиску. Перетворювачі тиску цих видів являють собою деформаційний чутливий елемент, найчастіше мембрану, на яку наклеюються тензорезистори. В основу принципу роботи тензорезисторів покладено явище тензоефекту, суть якого полягає в зміні опору провідників і напівпровідників при їх деформації. Існує зв'язок між зміною опору тензорезистора і його деформацією [3].

Дістали поширення дротові і фольгові тензорезистори, що виготовляють із провідників типу манганіну, ніхрому, константану, а також напівпровідникові тензорезистори, що виготовляють із кремнію і германію *p*- і *n*-типів. Опір тензорезисторів, що виготовляють із провідників, становить 30-500 Ом, а опір напівпровідникових тензорезисторів від $5 \cdot 10^{-2}$ -10 кОм.

Удосконалювання технології виготовлення напівпровідникових тензорезисторів створило можливість виготовляти тензорезистори безпосередньо на кристалічному елементі, виконаному із кремнію або сапфіру. Пружні елементи кристалічних матеріалів мають пружні властивості, що наближаються до ідеальних. Класи точності тензорезисторних вимірювальних перетворювачів надлишкового тиску, розрідження і різниці тисків 0,6; 1,0; 1,5. Діапазони вимірювання: надлишкового тиску – від $0-10^{-3}$ до 0-60 МПа; розрідження – від мінус 1-0 до мінус 10-0 кПа; абсолютного тиску – від 0-2,5 кПа до 0-2,5 МПа; різниці тисків – від 0-1 кПа до 0-2,5 МПа.

П'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі тиску. В основу роботи цих перетворювачів покладене перетворення вимірювального тиску в зусилля

за допомогою деформаційного чутливого елемента і наступного перетворення цього зусилля в сигнал вимірювальної інформації п'єзоелектричним перетворювальним елементом. Принцип дії п'єзоелектричного перетворювального елемента заснований на п'єзоелектричному ефекті, який спостерігається в ряді кристалів, таких, як кварц, турисин, титанат барію та ін. Суть п'єзоелектричного ефекту полягає в тому, що якщо кварцові пластини X -зрізу піддати стиску силою N , то на її поверхні виникнуть заряди різних знаків. Значення заряду Q пов'язане із силою N співвідношенням

$$Q = k \cdot N, \quad (3.7)$$

де k – п'єзоелектрична постійна, що не залежить від розміру пластини і визначається природою кристала.

На рис.3.13 показана схема п'єзоелектричного вимірювального перетворювача тиску. Вимірювальний тиск перетворюється мембраною 4 у зусилля, що викликає стиск стовпчиків кварцових пластин 2 діаметром 5 мм і товщиною 1 мм [3]. Виникаючий електричний заряд Q через виводи 1 подається на електронний підсилювач 5, що має більший вхідний опір. Значення заряду пов'язане з вимірювальним тиском P залежністю

$$Q = k \cdot P \cdot F, \quad (3.8)$$

де F – ефективна площа мембрани.

Внаслідок того що частота власних коливань системи «мембрана — кварцові пластини» становить десятки кілогерців, то вимірювальні перетворювачі цього типу мають високі динамічні характеристики, що обумовило їх широке застосування при контролі тиску в системах з процесами, що мають швидкий перебіг.

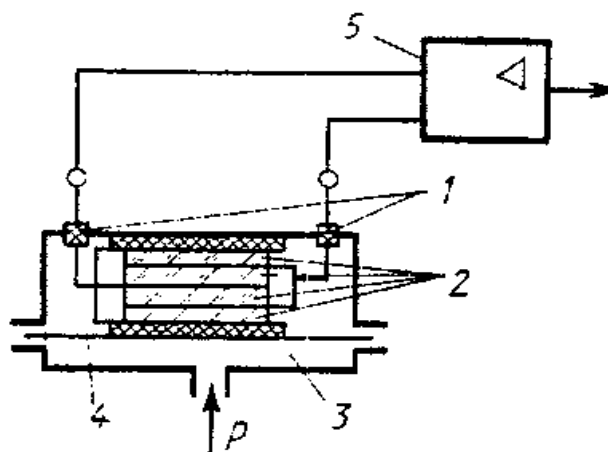


Рисунок 3.13 – Схема п'єзоелектричного вимірювального перетворювача тиску

Чутливість п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів тиску може бути підвищена шляхом застосування декількох, паралельно з'єднаних кварцових пластин, і збільшення ефективної площі мембрани.

Верхні межі вимірювання п'єзоелектричних перетворювачів тиску із кварцовими чутливими елементами 2,5-100 МПа. Класи точності 1,5; 2,0. Через витікання заряду із кварцових пластин перетворювачі тисків цього типу не використовують для вимірювання статичних тисків.