**3. ПРИЛАДИ І ДАТЧИКИ ТИСКУ (МАНОМЕТРИ)**

**3.1 Призначення та класифікація**

3.1.1. **Призначення**

У вимірювальній техніці **ВП**, призначені для вимірювання тиску, називаються манометрами.
В авіації манометри застосовують для вимірювання тиску палива, масла, повітря і т.д.

**3.1.2. Класифікація**За **призначенням** авіаційні манометри ділять на манометри, що вимірюють абсолютний тиск, різницю тисків (диференціальні) і відношення двох тисків.

***Диференціальні манометри*** використовуються для вимірювання надлишкових тисків рідин і газів в різних відсіках авіаційних двигунів (у паливній системі, масляній системі та ін.) Діапазони вимірювання від одиниць до сотень $кГс/см^{2}$**.**

 ***Манометри абсолютного тиску*** (мановакуумметри) застосовуються для вимірювання тиску у всмоктувальних системах поршневих двигунів.

***Манометри відносини тисків*** служать для контролю ступеня стиснення газів на різних ступінях газотурбінних двигунів.

**Манометри абсолютного тиску** і **диференціальні манометри** входять також до складу широко застосовуються на літальних апаратах манометричних пілотажно-навігаційних **ВП**. У цих **ВП** проводиться вимірювання повного та статичного тисків зустрічного потоку повітря і здійснюється автоматичний перерахунок результатів вимірювань по відомим функциональним залежностям з метою непрямого визначення висоти польоту, індикаторної швидкості, истиної повітряної швидкості, числа М і вертикальної швидкості
Поряд з **манометрами** і **манометричним пілотажно-навігаційними** **ВП**, інформація котрих сприймається й **обробляється людиною**, на літальних апаратах широко застосовуються **сигналізатори** і **датчики тиску**, що перетворюють тиск в **електричний сигнал**, використовуваного в системах автоматичного управління та в обчислювальних пристроях. Датчики тиску є складовою частиною комплекту електричних дистанційних манометрів. **Сигналізатори тиску** включають електричний сигнал при виході вимірюваного тиску за допустимі для нормальної роботи двигуна межі.
**За методами вимірювання тиску** манометри можна розділити на наступні групи:
- **Механічні**, в тому числі рідинні, вагові та пружинні;
- **Електромеханічні**, засновані на тих же принципах, що і механічні, але відрізняються тим, що механічний чутливий елемент поєднується з електричною дистанційною передачею;
- **Електричні**, у тому числі електронні, газорозрядні, радіоактивні, теплові та п’єзорезисторні

**3.1.3. Методи вимірювання тисків**Що стосується методів вимірювання тиску, застосовуваних в авіаційному приладобудуванні, то найбільшого поширення набули методи вимірювання, в яких сили вимірюваного тиску безпосередньо порівнюються з пружними силами. Ці методи покладені в основу роботи мембранних манометрів. До цих методів близькі методи вимірювання, в яких сили тиску, перетворена в переміщення, впливають на параметри вимірювальних схем: опору, ємності, індуктивності і т.д. Це по суті електричні методи вимірювання, засновані на перетворенні деформації елементів, функціонально пов'язаних з тиском, в вимірювання опору, ємності або індуктивності. Вимірювання тиску в електромеханічних манометрах з омічним (потенціометричним) і індуктивним перетворювачами зводиться до перетворення сил тиску в деформацію пружних елементів, потім перетворення деформацій у зміну омічного або індуктивного опорів за допомогою мостових вимірювальних схем.

При виборі методу вимірювання і типу чутливого елемента перевагу слід віддавати електричним чутливим елементам які не мають рухомих частин. Однак ці елементи не дозволяють вимірювати тиск в найбільш вживаною діапазоні **(1 - 100** $кгс/см^{2}$**).** Механічні чутливі елементи здатні вимірювати тиск у вказаному діапазоні. При використанні чисто механічних манометрів тиск повинен підводитися за допомогою трубопроводу безпосередньо до приладової дошки літака. Наявність трубопроводів знижує експлуатаційну надійність системи (через можливу розгерметизацю системи у випадку поломки трубопроводу) і приводить до запізнювання(інерційності) показань при вимірюванні тиску газів. Від цих недоліків вільні дистанційні електромеханічні манометри, в яких датчик, що містить механічний чутливий елемент з електричним перетворювачем, встановлюється безпосередньо на відповідному агрегаті авіадвигуна. При цьому електричні сигнали, що знімаються з датчика, передаються по електропроводці та сприймаються розташованим на приладовій дошці електровимірювальним приладом або використовуються в системі автоматичного регулювання та керування рухомої установки.

**Відомі такі основні методи вимірювання тиску:
- Ваговий** - заснований на зрівноважуванні сил тиску вагою стовпця рідини або еталонного вантажу. Недоліки: великі похибки при нахилах і прискореннях, манометри, побудовані на основі цього методу, в авіації широкого застосування не знайшли;
**- Пружинний** - заснований на залежності деформації пружного чутливого елемента від прикладеного тиску;
**- Силовий** - заснований на залежності сили або моменту сил, розвивається не пружнім або пружнім чутливим елементом, від прикладеного тиску;
**- Частотний** - заснований на залежності частоти власних коливань тонкостінного циліндричного резонатора від різниці тисків, що діють на його внутрішню і зовнішню поверхні;
**- П’єзорезисторний** - заснований на залежності електричного опору провідника або напівпровідника від величини впливає на нього тиску. Датчики призначені для вимірювання тиску в десятки тисяч атмосфер;
**- Термокондутівний** - заснований на залежності теплопровідності газу від абсолютного тиску (при малих абсолютних тисках). Область застосування: для вимірювання тисків у діапазоні 10 ÷ 10-3 мм. рт. ст .;
**- Іонізаційний** - заснований на залежності ступеня іонізації газу від тиску;
**- Електрокінематіческій** - заснований на виникненні електрокінетичного потенціалу полярної рідини при її перетіканні через пористу діафрагму та ін.
В авіації найбільш широке застосування знайшли манометри, побудовані на **пружинному** та **силовому методі** вимірювання тиску.

**3.1.4. Вимоги, що пред'являються до авіаційних манометрам**Авіаційні манометри повинні відповідати таким основним вимогам:
**- Допустимі похибки** при нормальних умовах не повинні перевищувати при вимірюванні тиску палива **± 3%**, при вимірі тиску масла **± 4%**;
- Манометри повинні бути **дистанційними**;
- При застосуванні манометрів у якості датчиків у регуляторах діапазон відтворюваних ними частот повинен бути на порядок вище діапазону частот замкнутого контуру регулювання.

**3.2 Електромеханічні манометри**
Найбільш широке застосування на сучасних літальних апаратах знайшли електромеханічні манометри. В електромеханічних манометрах в якості чутливих елементів використовуються гофровані мембрани, манометричні коробки і манометричні трубки. Прилади (датчики) застосовуються для вимірювання тиску в діапазонах від **0 ÷ 1** до **0 ÷ 250** $кгс/см^{2}$. При вимірюванні тиску до **3** $кгс/см^{2} $застосовуються манометричні коробки, до **100** $кгс/см^{2} $- гофровані мембрани і до **250** $кгс/см^{2} $- манометричні трубки.
Для перетворення деформації пружних елементів в електричний сигнал у електромеханічних авіаційних манометрах найбільш часто застосовуються оммічні (потенціометричні), індуктивні та ємнісні перетворювачі.
В авіації найбільш часто застосовуються манометри (датчики), засновані на пружинних і силових методах вимірювання тиску.
У пружинному манометрі електричний сигнал отримується на основі перетворення переміщення, а в силових - на основі перетворення сили.
Електричні дистанційні манометри пружинного типу складаються з датчика та електричної дистанційної передачі. Схеми датчиків аналогічні схемами механічних пружинних манометрів і відрізняються тим, що пружний чутливий елемент ЧЕ пов'язаний (безпосередньо або через передавально-розмножувальний механізм) з перетворювачем переміщення (ПП). Роль ПП полягає в перетворенні лінійного чи кутового переміщення, функціонально залежного від тиску ЧЕ, у зміну одній з електричних величин - R, L, C, U і т.д.

**3.2.1. Електромеханічні манометри з оммічним (потенціометричним) перетворювачем.**У манометрах даного типу для перетворення деформації пружних елементів в електричний сигнал застосовується метод оммічного опору. Реостат включається в мостову схему або в схему потенциометрической дистанційної передачі. У цих вимірювальних схемах зміна оммічного опору перетвориться в зміну електричного струму. У вимірювальних схемах здійснюється також компенсація температурної похибки приладу (датчика).



**Рис. 3.1. Кінематична схема пружинного датчика тиску з потенціометри-чним перетворювачем**
1 - мембрана; 2 - основа; 3 - шток; 4 - потенціометр, 5 - щітка; 6 – штепсельна вилка; 7 - щіткотримач; 8 - плоский важіль; 9 - вісь; 10 - пружина, 11 - кулачок; 12 – штуцер

На **рис. 3.1** показана кінематична схема пружинного датчика тиску з потенціометрічним **ПП**. Ця конструкція є уніфікованою: при переході від одного діапазону вимірювання до іншого товщина мембрани вибирається так, що її максимальний прогин не змінюється. Це дозволяє уніфікувати механізм, потенціометр і електричну дистанційну передачу, схема якої представлена на **рис.3.2.** Вимірником служить логометр з рухомим магнітом, шкала якого градуюється в одиницях тиску. Логометр разом з усіма резисторами (крім потенціометра) поміщений в корпус покажчика, який монтується на приладній дошці.

Недоліком потенціометричних ПП є наявність ковзаючого контакту, який знижує надійність приладу. При використанні безконтактних ПП (індуктивних, ємнісних чи ін) можна обійтися без передавально-розмножувального механізму, так як ці ПП здатні безпосередньо реєструвати малі переміщення ЧЕ. Доцільно застосовувати диференціальні
перетворювачі.



**Рис. 3.2.** Принципова схема електромеханіческого дистанційного манометра з потенціометричним перетворювачем
**Rx** і **Ry** - плечі потенціометра; **R1**, **R2**, **R3**', **R3**''
і **rд** - резистори; **С** - щітка потенціометра; **О** - вісь обертання кулачка;

**P** - вимірювальний тиск; **r** - рамки логометра; **i1**, **i2** - струми в рамках

**3.2.2. Електромеханічні манометри з індуктивними перетворювачами.**Недоліки реостатних (оммічних) перетворювачів, пов'язані з порушенням контактів при вібраціях, коливаннях вимірюваного тиску і змінних температурах призвели до створення манометрів з індуктивними перетворювачами. Були створені дистанційні індукційні манометри серії ДІМ-Т. Вони застосовуються для вимірювання тиску в умовах підвищених температур і при значних коливаннях вимірюваного тиску з частотою до 700 Гц. Манометри випускаються на діапазони вимірювання від 0 ÷ 3 $кгс/см^{2} $ до 0 ÷ 300 $кгс/см^{2}$. Комплект приладу включає датчик і покажчик.



**Рис. 3.3. Схема манометра серії ДІМ-Т**

Схема манометра серії ДІМ-Т показана на **рис. 3.3**. В якості чутливих елементів при вимірюванні тисків до 100 $кгс/см^{2}$ застосовуються гофровані мембрани, а для тисків до 300 $кгс/см^{2}$- жорсткі мембранні коробки.
При деформації чутливого елемента переміщується якір індуктивного датчика, і вимірюється величини зазорів δ1 і δ2. Зміна їх призводить до зміни коефіцієнтів самоіндукції котушок L1 і L2. Котушки при цьому включаються в мостову схему, утворюючи два плеча. Два інші плеча моста утворені опорами R1 і R2. Вкзівником у приладі є логометр того ж типу, що і в манометрах серії ЕДМУ.
Оскільки індуктивні котушки живиться змінним струмом, а логометр працює на постійному струмі, то напруга в схемі випрямляється за допомогою діодів Д1 і Д2.

Особливістю манометрів серії ДІМ-Т є застосування індуктивного перетворювача в схемі з логометром. Для узгодження цих елементів необхідний випрямляч. Однак схеми з випрямлячами нелінійні, тому аналіз процесів у них ускладнений.
Похибка манометрів серії ДІМ-Т при нормальних умовах не перевищує

± 4%.Ширина шкали покажчика 120 °.

**3.3 Похибки електричних дистанційних манометрів**Похибки електричних дистанційних манометрів складаються з похибок, що вносяться власне датчиком тиску, електричної вимірювальної схемою і вихідним аналогово-цифровим перетворювачем.
Пружинним манометрам властиві такі інструментальні похибки.

3.3.1. **Похибки характеристики**, виникають внаслідок неповної взаємної компенсації не лінійності характеристик чутливого елемента і передаточно-розмножувального механізму, а також електричного перетворювача. Ці похибки мінімізують шляхом індивідуального регулювання механізму у виготовлених зразках приладів і датчиків.
Існують спеціальні механізми, що дозволяють звести до нуля похибки в багатьох точках характеристики. Прикладом такого механізму служить механічний коректор шкальних похибок, в якому ролик ковзає по кулачку, виконаному з гнучкої стрічки; кривизна кулачка може плавно змінюватися за рахунок місцевого вигину стрічки за допомогою регулювальних гвинтів **(рис. 3.4)**. Ролик укріплений на важелі, який при своєму повороті повідомляє вихідній осі додаткове кутове переміщення того чи іншого знака. Знак додаткового переміщення залежить від того, чи потрапляє ролик на виступ або западину кулачка.

****

**Рис. 3.4 Схема механічного коректора**1 - вхідна вісь (α - кут її повороту); 2 - скоба, 3 - поперечна вісь, 4 - важіль; 5-ролик; 6 - гнучка кільцева стрічка; 7 - провідний повідок, 8 - ведений повідок; 9 – вихід на вісь; 10 - спіральна пружина, що притискує ведений повідок до провідного;11 - стрілка або щітка потенціометра; 12 - регулювальний гвинт.

**3.3.2.** **Похибки**, обумовлені **впливом шкідливих сил**, до числа яких належать, насамперед, сили тертя в передавальному-розмножувальному механізмі і електричному перетворювачі, сили від неврівноваженості рухомих частин, електромагнітні або електростатичні сили від взаємного тяжіння або відштовхування рухомих і нерухомих частин електричного перетворювача. Зменшення цих похибок можливо наступними шляхами:
**а)** зниженням шкідливих сил за рахунок поліпшення якості опор, ретельного балансування механізму і т.п. Підвищення точності балансування дозволяє послабити натяг пружин, вибираючих люфти, що в свою чергу сприяє зменшенню тертя;
**б)** збільшенням ефективної площі чутливого елемента;
**в)** застосуванням диференціальних електричних перетворювачів, у яких в початковому положенні сили натягу взаємно скомпенсовані;
**г)** застосуванням слідкуючих систем, що розвантажують чутливий елемент від сил тертя.

**3.3.3. Температурні похибки** манометрів, викликані впливом температуринадовколишнього середовища на фізичні параметри матеріалів та геометричні розміри деталей.
Найбільш істотно температура впливає на модуль пружності чутливого елемента.
Лінеаризовані залежність модуля пружності від температури має вигляд

$$E=E\_{0}(1+α\_{E}Δθ)н/м^{2}$$

де $E\_{0}$ - початкове значення $E$ (при $θ$ = $θ\_{0}$) у $н/м^{2}$**;**
$α\_{E}$ - температурний коефіцієнт $E$;

**Δ*θ* = *θ* =** $θ\_{0}$ ***ºС***

Характеристика чутливого елемента диференціального манометра пов'язана з модулем пружності співвідношенням

****

величина температурної похибки

****



Наприклад, при значенні й



Величина відносної температурної по похибки чи 1,6%

Вплив температури на геометричні розміри чутливого елемента і передаточно-розмножувального механізму виражається залежністю

****

де l - геометричний розмір;
$α\_{l}$ - коефіцієнт лінійного розширення.
Цей вплив позначається на показаннях приладу значно слабкіше завдяки тому, що температурні коефіцієнти $α\_{l}$ лінійного розширення металів на порядок менше, ніж температурний коефіцієнт $α\_{E}$ модуля пружності.
Температура впливає також на величину залишкового тиску, зростає в середині анероїд (вакуумурованих чутливих елементів), що застосовуються в манометрах абсолютного тиску. При зміні температури на величину Δθ виникає похибка



Нарешті, при зміні температури може змінюватися вихідний параметр R, L, М або C електричного перетворювача.
Зменшення температурних похибок досягається такими способами:

а) виготовленням чутливих елементів із сплаву типу елінвар, що володіють вельми малим температурним коефіцієнтом модуля пружності;

б) зниженням залишкового тиску всередині анероїда шляхом більш ретельного його вакуумування;

в) введенням в конструкцію приладу спеціальних біметалічних компенсаторів, які викликають в залежності від температури прирощення показання приладу, рівну за величиною і протилежна за знаком температурної похибки приладу.
Розрізняють біметалічні компенсатори 1 і 2-го роду.

Дія компенсаторів 1-го роду (рис. 3.5, а) засновано на введенні послідовно з пружнім чутливим елементом кінематичної ланки, виконаного у вигляді консольно закріпленої біметалічної пластини, лінійне переміщення вільного кінця якої ΔS, пропорційне збільшенню температури, складається з прогином S пружнього чуттєвого елемента (або віднімається з нього). Розрахунок величини ΔS для біметалічного компенсатора пластинчастого типу проводиться за формулою:

****

де h - товщина біметалічної пластини в м;

****

Рис. 3.5 Схеми біметалічних компенсаторів:
а) - 1-го роду; б) - 2-го роду;

1 - мембранна коробка; 2 - біметалева пластина, 3 - шатун, 4 - кривошип; 5 - вісь кривошипа

α1 і α2 - коефіцієнти лінійного розширення компонент біметалу;
l - довжина пластини в м;
Δθ - приріст температури °С.
Компенсатор 1-го роду компенсує тільки адитивну температурну похибку.
Дія компенсаторів 2-го роду (рис. 3.5, б) засновано на введенні в кривошип кінематичної ланки, виконаної у вигляді біметалічної пластини, переміщення вільного кінця якої, пропорційне збільшенню температури, викликає збільшення чи зменшення плеча кривошипа на величину Δa, яка визначається так само, як і величина ΔS для компенсатора 1-го роду. Характер впливу компенсатора 2-го роду на прирощення показань приладу залежить від початкового кута φ1 установки кривошипа (рис. 3.5, а). Якщо цей кут близький до нуля, тобто якщо при S = 0 кривошип приблизно перпендикулярний шатуна, то прирощення Δa плеча кривошипа майже не викликає початкового повороту кривошипа, а лише змінює передавальне відношення механізму. Тому при φ1 = 0 вводиться компенсатором 2-го роду поправка яка носить чисто мультиплікаційний характер. Відносна величина цієї поправки дорівнює



де а - плече кривошипа.

Якщо φ1 ≠ 0, то зміна температури викликає початковий поворот кривошипа при S = 0, і в цьому випадку вводиться компенсатором 2-го роду поправка яка містить як адитивну, так і мультиплікаційну складові;

г) застосуванням диференціальних електричних перетворювачів, що видають два змінних параметра z1 і z2 і включених за схемою дільника напруги; при роботі на високому навантаженні диференціальний перетворювач не має температурної похибки, оскільки величина знімаємої напруги від величини параметрів г1 і г2 не залежить , а визначається співвідношенням г1 / г2; важливо забезпечити лише рівність температурних коефіцієнтів параметрів г1 і г2,

д) застосуванням електричних компенсаторів, виконаних у вигляді дротового або напівпровідникового термоопору та включаються у зовнішнє електричне коло так, щоб компенсувати температурні похибки, що вносяться усіма іншими елементами датчика.

**3.3.4. Похибки від люфтів** в опорах, шарнірах і напрямних передавального-множувального механізму. Для усунення похибок від люфтів на вихідній осі передавального-множувального механізму встановлюється спіральна пружина (волосок), якій дається початковий натяг. Величина натягу вибирається з тих міркувань, щоб у всьому діапазоні кутів повороту момент вихідної осі, створюваний пружиною навколо своєї осі, дещо перевищував наведенний момент дизбалансу, помножений на максимальну величину вібраційного перевантаження або перевантаження від лінійних прискорень. Занадто великий натяг пружини небажаний, тому що він приводить до збільшення похибок від тертя.

**3.3.5. Похибки від гистерезиса і пружного післядії.** Зниження цих похибок досягається вибором матеріалів з хорошими пружніми властивостями та поліпшенням режимів їх термічної обробки. Найменшими похибками від гистерезиса і пружньої післядії припадают чутливі елементи, виготовлені зі сплавів типу 47ХНМ і берилієвої бронзи.

**3.3.6. Похибки від впливу тиску навколишнього середовища.** Ці похибки виникають у манометрах зі здвоєними чутливими елементами у разі нерівності їх ефективних площ. Для зменшення похибок підбирають чутливі елементи з максимально близькими ефективними площами.

**Контрольні питання:**1. Призначення авіаційних манометрів?
2. У яких системах ВС застосовуються авіаційні манометри?
3. Як класифікуються АМ за призначенням?
4. Як класифікуються АМ за методами вимірювання?
5. Які відомі основні методи вимірювання тисків?
6. Які основні вимоги пред'являються до АМ?
7. Який метод вимірювання тиску в авіаційному приладобудуванні знайшов найбільш широке застосування і чому?
8. У чому полягає відмінність манометра від датчика тиску?
9. У яких діапазонах вимірювання тиску "працюють" електромеханічні манометри?
10. Які пристрої застосовуються в якості чутливих елементів в електромеханічних манометрах?
11. З яких структурних основних елементів складається електромеханічний манометр?
12. Які види перетворювачів застосовуються в електромеханічних манометрах
13. У чому полягає принцип дії електромеханічного манометра з потенціометричним перетворювачем?
14. У чому полягають основні недоліки електромеханічного манометра з потенціометричним перетворювачем?
15. У чому полягають переваги електромеханічних манометрів з індуктивними перетворювачем над своїми аналогами з потенціометричним перетворювачами?
16. У чому полягає принцип дії електромеханічного манометра з індуктивним перетворювачем?
17. Які похибки мають електромеханічні манометри?
18. У чому причина виникнення похибок характеристик?
19. Які існують методи зменшення похибок характеристик?
20. У чому причина виникнення похибок обумовлених впливом шкідливих сил?
21. Які існують методи зменшення похибок обумовлених впливом шкідливих сил?
22. Яким чином зміна температури впливає на точність вимірювання дистанційних манометрів?
23. Які існують методи зменшення температурних похибок?