

## ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

### 3.4.1. Измерване на налягане.

Налягането характеризира явленията, свързани с флуидите. То играе важна роля при управлението на много технологични процеси. Разнообразието от диапазони на изменение на налягането /от абсолютен вакуум до свръх високи налягания/ е наложило много методи и средства за измерването му.

При измерване на налягане интерес представлява абсолютното налягане  $P_{abc}$ , свръхналягането  $P_c$ , атмосферното налягане  $P_a$ , диференциалното налягане  $P_d$  и вакуумът  $P_b$ .

Абсолютното налягане в дадена точка се нарича пълното натисково напрежение в точката, породено от действието на всички външни сили, включително и тези от атмосферно налягане. Абсолютното налягане може да бъде по-голямо или по-малко от атмосферното.

Ако  $P_{abc} > P_a$  се получава свръхналягане, т.е.

$$P_c = P_{ABC} - P_a, \quad 3.4.1.$$

Ако  $P_{abc} < P_a$  се получава вакуум, който може да се определи по формулата:

$$P_b = P_a - P_{abc}, \quad 3.4.2.$$

За измерване на налягане, в измерителната техника се използват различни типове уреди. В зависимост от измерваната величина тези уреди са разделени на следните групи: уреди за измерване на атмосферно налягане, наречени барометри, уреди за измерване на свръхналягане – манометри, уреди за измерване разлики в налягания - диференциални манометри и уреди за измерване на вакуум - вакуумметри.

Използват се следните методи за измерване на налягане:

1. Хидростатични методи, при апаратите, базиращи се на тези методи, измерването на налягане се уравнисява от налягането, създавано от стълб течност с известна плътност и височина, пропорционална на налягането. Върху тези методи се основават живачните барометри, U - образните манометри, вакуумметри и др.
2. Методи, основаващи се на деформацията, която налягането предизвиква върху специални еластични преобразуватели. Еластичната сила от деформацията уравнисява силата, създавана от измерването на налягане. Като еластични елементи се използват: тръбни пружини, мембрани, цилиндрични пружини и др. Най-голямо приложение са намерили манометрите с еластичен преобразувател.
3. Методи, основаващи се на механично уравнисяване на налягането, действащо върху определена площ на подвижния му елемент. Към уредите, основаващи се на тези методи, спадат буталните манометри с механично уравнисяване. Буталните манометри се използват като образцови уреди.
4. Електрически методи. Измерването на налягане при тези методи се основава на зависимостта между налягането и електрическите параметри на преобразувателния елемент. Към уредите, основаващи се на тези методи, спадат пиезоелектрическите манометри, магнитоеластичните манометри, йонизационни манометри и др.

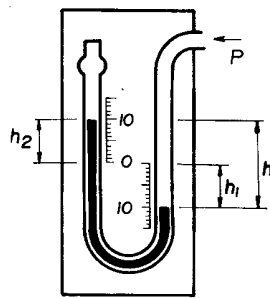
В зависимост от принципа си на действие, уредите за измерване на налягане биват: течностни, пружинни /механични/, бутални и електромеханични.

### 3.4.1. Течностни манометри.

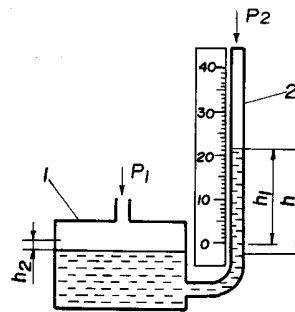
В техническите измервания се използват два типа течностни манометри: U - образни и чашкови. И двата типа манометри са намерили приложение за измерване на свръхналягане, разреждане и разлика в налягане на течности и газове.

Когато се измерва налягане до 7000 Pa, като работна течност се използва вода, а за налягане до 0.1 MPa, работната течност е живак.

На Фиг. 3.4.1. е показан U образен манометър. Той представлява U - образна стъклена тръба, запълнена до половината си с работна течност. Вътрешният размер на стъклените тръбички не трябва да бъде по-малък от 8 – 10 mm, ако работната течност е вода. В противен случай за работна течност трябва да се предпочита спирт, толуол или живак.



фиг. 3.4.1. U манометър



фиг. 3.4.2. Чашов манометър

Работното положение на U образния манометър е вертикално.

Измерваното налягане се уравнисява с налягането на стълб от работна течност с височина h, определен като сума от стълбовете h<sub>1</sub> и h<sub>2</sub>. Измерваното налягане в милиметри стълб на работна течност може да се определи в Pa чрез формулата.

$$P = gh(\rho - \rho_c) \quad , 3.4.3.$$

където g е земно ускорение на m<sup>-2</sup> плътност на работната течност, kg.m<sup>3</sup>; ρ<sub>c</sub> - плътност на околната среда, kg/m<sup>3</sup>.

Ако е в сила условието, че ρ<sub>c</sub> « ρ уравнението добива вида:

$$P = gh\rho \quad , 3.4.4.$$

Чашковият манометър е показан на фиг. 3.4.2. Той се състои от цилиндричен съд 1 и стъклена измервателна тръбичка 2. При измерване по-високото налягане се подава към цилиндричния съд. Измерваното налягане се отчита само по височината h на стълба течност в тръбичката.

Грешката при измерване ще бъде толкова по-малка, колкото по-голямо е отношението между напречните сечения на цилиндричния съд и тръбичката. При подаване на измерваното налягане, нивото на течността в чашката се понижава с  $h_2$ , а в тръбичката се повишава с  $h_1$ .

Ако се обозначи с  $F_1$  сечението на тръбичката, а с  $F_2$  сечението на цилиндричен съд, за равенството на обемите може да се запише

$$h_1 F_1 = h_2 F_2 \quad , 3.4.5.$$

а като се вземе предвид, че

$$h = h_1 + h_2 \quad , 3.4.6.$$

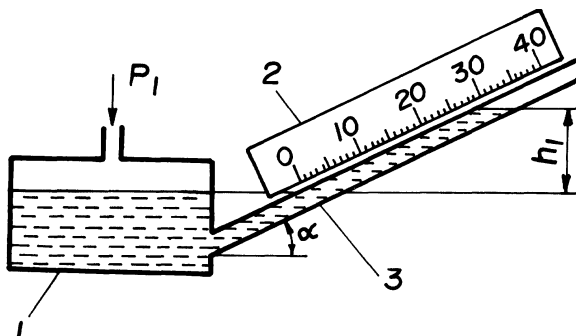
където  $h_1$  е ниво на течността в тръбичката;  $h_2$  - ниво на течността в чашката.

за общата височина на течността се получава:

$$h = h_1 \left( 1 + \frac{F_1}{F_2} \right) = h_1 \left( 1 + \frac{d^2}{D^2} \right) \quad , 3.4.7.$$

Грешката при тези уреди не надвишава  $\pm 1$  mm за едно деление на скалата.

За измерване на малки налягания се използват микроманометри /фиг.3.4.3/. Те се състоят от цилиндричен съд 1, наклонена тръбичка 3 и измервателна скала 2.



Фиг.3.4.3.  
Микроманометър

Използуваната конструкция позволява да се увеличи дължината на скалата, при измерване на малки налягания, с което се намалява грешката при отчитане на височината на течността  $h_1$ . Връзката между височината на течността и дължината на тръбичката  $l$  се дава със зависимостта

$$l = \frac{h_1}{\sin \alpha} \quad , 3.4.8.$$

Връзката между дължината на тръбичката и измерваното налягане може да се определи от равенството на обемите на двата стълба течност - в чашката и в тръбичката:

$$l F_1 = h_2 F_2 \quad , 3.4.9.$$

където  $F_1$  е напречното сечение на тръбичката,  $m^2$ ;  $F_2$  - напречното сечение на чашката,  $m^2$ ;  $h_2$  - височината на стълба течност в чашката.

Височината на стълба течност, който уравнисява измерваното налягане е

$$h = h_1 + h_2 \quad , 3.4.10.$$

Като се заместят  $h_1$  и  $h_2$  от изразите 3.4.9. и 3.4.10 се получава

$$h = l \left( \sin \alpha + \frac{F_1}{F_2} \right) \quad , 3.4.11$$

Измерваното налягане се получава

$$P_a = h \rho g = l \left( \sin \alpha + \frac{F_1}{F_2} \right) \rho g \quad , 3.4.12$$

Ако изразът  $\rho g \left( \sin \alpha + \frac{F_1}{F_2} \right)$  се приеме за постоянен, за измерваното налягане се получава

$$P_a = kl \quad , 3.4.13.$$

където  $k$  е константа на уреда.

На фиг.3.4.4. е показан поплавъков манометър. Той представлява U образен манометър, в чашката на който е поместен поплавок. Поплавъкът е свързан чрез лостова система със стрелката на показващите уреди.

Разликата в налягането  $P_1 - P_2$  се уравнисява от стълба течност с височина

$$H = h_1 + h_2 \quad , 3.4.14.$$

Ако се отчете, че условието за равновесие се изразява от зависимостта

$$P_1 - P_2 = H(\rho - \rho_c)g \quad , 3.4.15.$$

и, че за съдове с цилиндрична форма  $f$  и  $F$  са свързани с равенството  $h_2 F = h_1 f$  или

$$h_1 = h_2 \frac{D_2}{d_2} \quad , \text{тогава}$$

$$H = h_2 \left( 1 + \frac{D^2}{d^2} \right) (\rho - \rho_c)g \quad , 3.4.16$$

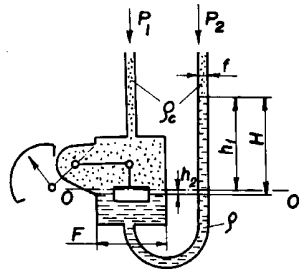
В 3.4.16,  $1 + \frac{D^2}{d^2}$  и  $g(\rho - \rho_c)$  се постоянни величини, следователно може да се запише следното

$$P_1 - P_2 = kh_2 \quad , 3.4.17.$$

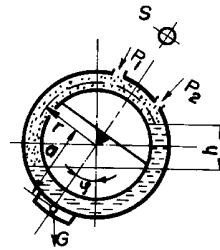
Където  $k$  е константа на уреда.

Като запълваща течност за този тип манометри се използва най-често живак. Това е една от основните причини за ограниченото им използване.

Поплавъковите манометри се използват за измерване на разход, пад на налягане при неголеми свръхналягания /до 250 kPa/.



Фиг.3.4.4. Поплавников манометър.



Фиг.3.4.5. Пръстеновиден манометър.

За измерване на сравнително малки налягания се използват пръстеновидни манометри /фиг.3.4.5./. Измервателният елемент на тези уреди представлява тороид, вътрешното пространство на който частично е запълнено с вода, масло или живак.

При положение, че  $P_1 > P_2$  нивото на лявата половина се намалява, а в дясната се повишава. Разликата в нивата е пропорционална на разликата в наляганията.

$$P_1 + P_2 = f(h\rho g) \quad , 3.4.18.$$

Под действие на измерваното налягане се измества центърът на тежестта на системата, което създава въртящ момент  $M_{II}$  равен на:

$$M_{II} = (P_1 - P_2)Sr \quad , 3.4.19$$

където  $S$  е площ на сечението,  $m^2$ ;  $r$  - среден радиус на тора,  $m$ .

Под действие на този момент измерителната тръба се завърта около опората на окачването, това предизвиква появата на противодействащ момент

$$M_p = pa \sin \varphi \quad , 3.4.20.$$

където  $P$  е тегло,  $N$ ;  $a$  - разстоянието от центъра на тежестта до точката на опората,  $m$ .

От равенството на двата момента следва, че

$$P_1 + P_2 = \frac{Pa}{Sr} \sin \alpha \quad , 3.4.21$$

или

$$P_1 + P_2 = k \sin \alpha \quad , 3.4.22.$$

От формула 3.4.22 е очевидно, че скалата на този тип манометри е нелинейна. Ъгълът, за повечето уреди от този тип не надвишава  $60^\circ$ .

Основната допустима грешка на пръстеновидните манометри не превишава 1,1 – 1,5 % от горната граница на измерване.

Предимство на пръстеновидните уреди по отношение на разгледаните досега е отсъствието на уплътнения и обстоятелството, че чувствителността им не зависи от изменението на плътността на работната течност и на средата над нея.

Към недостатъците на тези уреди могат да се отнесат чувствителността към качеството на монтажа и наличието на тръбички, подвеждащи налягането, което може да внесе грешки при измерването.

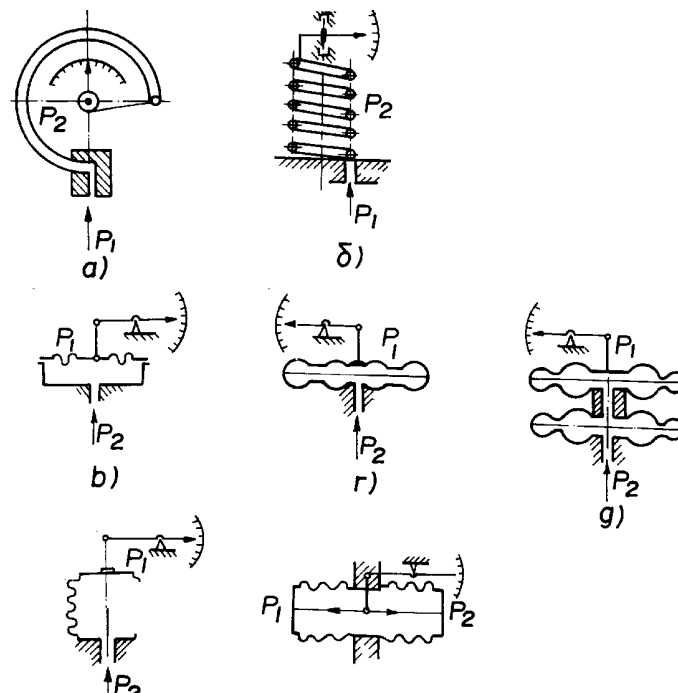
Освен описаните два типа течностни манометри, съществуват и други, които нямат практическо значение при изграждане на съвременните системи за автоматичен контрол.

### 3.4.2. Уреди за измерване на налягане с еластичен измервателен елемент.

В зависимост от вида на еластичния елемент, тези уреди се разделят на следните групи: тръбно-пружинни; мембранни; силфонни и комбинирани.

Тръбно-пружинните могат да бъдат с едновиткова пружина или с многовиткова тръбна пружина /фиг.3.4.6 а,б/. В мембранните чувствителен елемент е мембрана, мембранна кутия или блок от мембрани /фиг.3.4.6.в,г,д/.

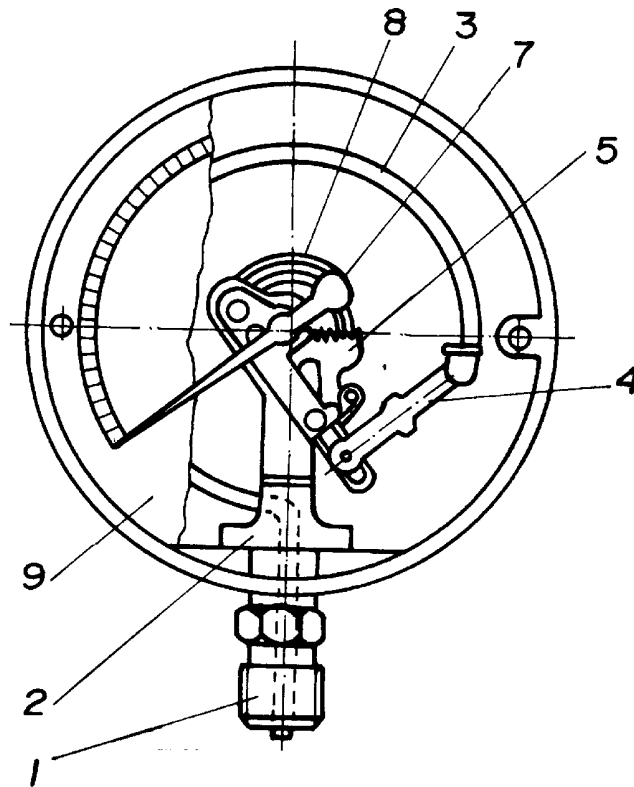
В силфонните измервателен елемент е гофрирана пружина /силфон/ или система от силфони /фиг.3.4.6 е,ж/. В комбинираните уреди се използват съчетания от мембрани и силфони, мембрани с винтови пружини и силфони с винтови пружини.



Фиг. 3.4.6. Еластични уреди за измерване на налягане.

### 3.4.3. Тръбно-пружинни манометри.

Като преобразувател на налягането в тези манометри се използва едноравнинна или многонавивкова тръбна пружина, наречена още тръба на Бурдон /фиг.3.4.7/. Еластичният елемент 3 е с елиптично или овално сечение. Той е огънат по окръжност на  $270^\circ$  и по-рядко на  $180^\circ$ . Единият му край е закрепен за тялото на манометъра 2, а другият е свободен и запушен. Преместването на тръбната пружина 3 се осъществява за сметка на разликата в наляганята на вътрешната и външната повърхност на измервателната тръбичка. Преместването на еластичния елемент задействува предавателния механизъм, състоящ се от лоста 4 и сектора 3. Чрез зъбно колело, зацепено със сектора, движението се предава на стрелката 7. Плоскоспиралната пружина 8, компенсира хлабините, възникнали в резултат от износване на механичната система на уреда и установява стрелката в изходно /нулево/ положение. Измерваното налягане се подава през входното отверстие 1.



Фиг.3.4.7 Тръбно-пружинен манометър

Горната граница на измерване на манометрите се избира от реда: 0.06;0,1; 0.16; 0.25; 0.4; 0.6; 1; 2.5; 4.0; 6.0; 10.0;16.0; 25; 40; 100; 160; 250; 400; 600; 1000 МПа.

Съгласно БДС 5080-71 се допуска работната граница на измерване да бъде равна на  $3/4$  от горната граница на измерване при постоянно налягане и  $2/3$  от горната граница при измерване на променливо налягане. Това изискване се диктува от обстоятелството, че преместването на свободния край на еластичната пружина е пропорционално на налягането до определена граница. При превишаване на тази

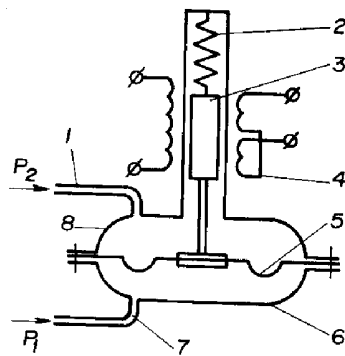
граница линейната зависимост се нарушава. тъй като деформацията започва да нараства по-бързо от налягането.

Манометрите се изработват с диаметри на тялото 40, 60, 100, 160 и 250mm. Най-висок клас на точност имат манометрите с диаметър 160 и 250 mm.

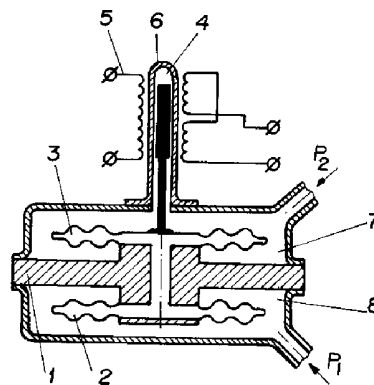
Манометрите с многовиткова тръбна пружина се различават от едновитковите по формата на чувствителния елемент, изпълнен като цилиндрична винтова спирала с пет до девет витки. Тези уреди се използват като самопишещи устройства, без система за предаване на показанията на разстояние.

#### 3.4.4. Уреди за измерване на налягане с мембранни и силфонни преобразуватели.

При тези измерители на налягане като чувствителен елемент се използва мембрана, мембранна кутия или гофрирана тръбичка. За измерване на налягане се използват както еластични /напрегнати/ мембрани, така и нееластични /отпуснати/ мембрани.



Фиг.3.4.8. Мембранен манометър



Фиг.3.4.9. Мембранен манометър - мембранен тип

Схемата на масово използвания манометър мембранен тип е показана на фиг.3.4.8. Напрегнатата мембрана 5 е с твърд център, като еластичната сила се създава от цилиндричната пружина 2 и сърцевината 3 на диференциално-трансформаторния преобразувател 4, когато налягането над мембраната  $P_2$  е по-високо от това под мембраната  $P_1$  сърцевината се премества под действие на еластичната сила на пружината, до установяване на равновесие. Преместването на сърцевината се преобразува в променливо напрежение с определена амплитуда.

Мембраните се изработват от стомана или бронз и представляват кръгли тънкостенни пластини с определена дебелина. Под действие на равномерно разпределен товар или съсредоточена сила, твърдо закрепената мембрана провисва. Провисването на мембраната е сложна функция на налягането, геометричните ѝ

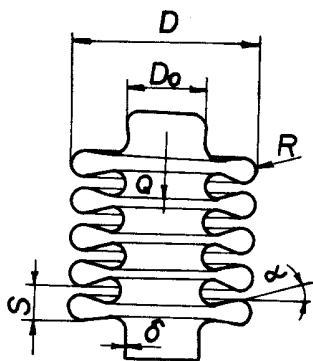


размери, както и на модула на линейна деформация. За да се увеличи провисването се използват мембранни блокове и мембранни кутии.

Схематично диференциален манометър с мембранен блок е показан на фиг.3.4.9. Блокът се състои от две мембрани 2 и 3, запълнени с течност, херметически изолирани една от друга чрез камерите 7 и 8 и преградата 1.

При подаване на по-високо налягане в долната камера, разположената в нея мембранна кутия се свива и течността от нея преминава през свързващия мембраните канал в горната мембранна кутия. В резултат на това, горната мембрана се разширява и премества сърцевината на преобразувателя 5.

Като недостатък на мембранните уреди може да се посочи сравнително малкия ход на подвижния център на чувствителния елемент, значителното отклонение на твърдостта на мембраната. Тези недостатъци са избягнати в уредите със силова или пневматична компенсация.



Фиг.3.4.10. Силфон

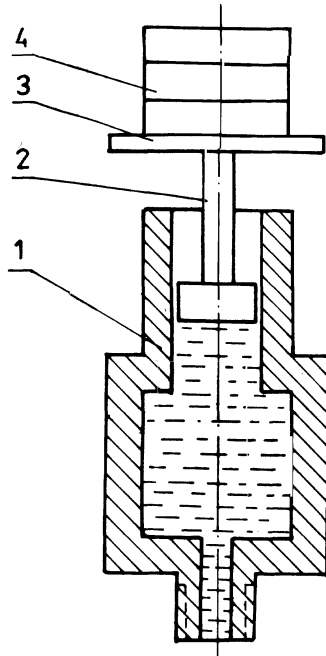
Измервателният елемент при силфоновите уреди за измерване на налягане представлява тънкостенна тръба /фиг.3.4.10/ с напречни гофри. Силфоните се използват за налягане до 2,5 МРа и разлики в наляганията до 0,2 МРа. При работа на свиване издържат налягане 1,5-2 пъти повече, отколкото при въздействие на налягането от вътре. Твърдостта на силфона зависи от геометричните му размери, дебелината на стените на тръбата  $\delta$ , еластичните свойства на материала, радиуса на закръгление на гофрите  $R$  и ъгъла на уплътнение,  $\alpha$ .

Съществен недостатък на силфоните е значителният хистерезис и известна нелинейност на характеристиката. За да се увеличи твърдостта, както и да се намали влиянието на хистерезиса и нелинейността върху точността, най-често силфоните се използват в комбинация с винтови пружини.

### 3.4.5. Бутални манометри.

В лабораторната практика за тарировка /градуиране/ и проверка на различни манометри се използват бутални манометри. Принципната схема на бутален

манометър е показана на фиг. 3.4.11. Измерваното налягане се подава към цилиндъра 1, запълнен с течност. Налягането на течността се уравновесява от теглото на буталото 2, диска 3 и тежестите 4. При равновесие на системата може да се запише



Фиг. 3.4.11. Бутален манометър

следното равенство:

$$PS = G + G\delta$$

$$P = \frac{G + G\delta}{S} \quad , 3.4.23$$

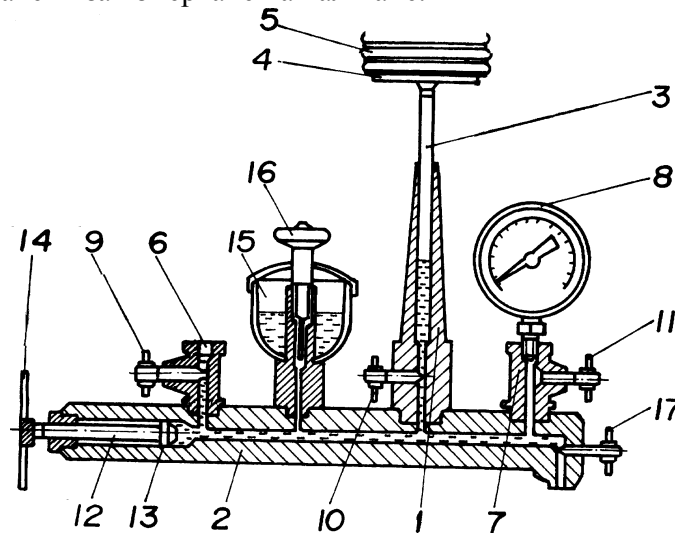
където  $P$  е измерваното налягане;  $S$  - сечение на буталото;  $G$  – тегло на тежестите;  $G\delta$  - тегло на буталото.

Буталото и цилиндърът се изработват много прецизно, така че не е необходимо да се използват уплътнителни устройства като маншети, пръстени и др.

Буталните манометри се комплектуват с устройства за създаване на налягане, монтиране и контрол на различни типове манометри /фиг.3.4.12/. Този комплект е известен под наименованието манометрична преса. Необходимото налягане се създава от винтова преса 2 с бутало 13. Буталото на пресата се премества от винта 12 и маховика 14. Буталният манометър се състои от цилиндър 1 бутало 3, дискове 4 и тежести 5. Изходите 6 и 7 се използват за монтиране на контролираните манометри. В единия изход се поставя еталонният манометър, а в другия изход - контролирания манометър. Като работна течност се използват различни видове масла, като: трансформаторно, турбинно, рициново и др. Течността се подава към отделните изходи чрез крановете 9, 10 и 11 от резервоара 15 и крана 16. Необходимото противоналягане в цилиндъра 1 се създава чрез тежестите 4, 5,

големината на които се подбира в зависимост от горната граница на налягане на контролирания манометър.

Манометричните преси се отнасят към категорията на най-точните устройства за измерване на налягане. Поради това те се използват за контрол на всички други уреди, предназначени за измерване на налягане.



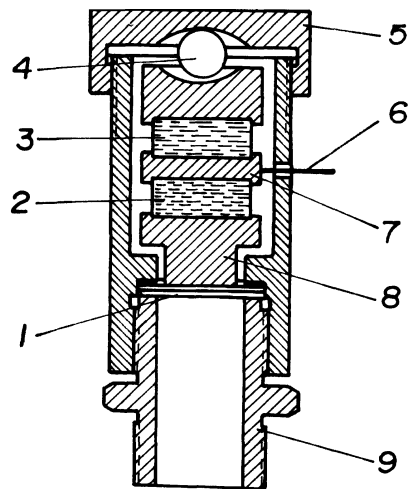
фиг.3.4.12. Манометрична преса.

### 3.4.6. Електрически уреди за измерване на налягане.

При електрическите уреди за измерване на налягане, измерваната величина се преобразува директно в електрически параметър. Типични представители на този тип уреди са пиезоелектричните, магнитоеластичните, кондензаторните и други измерители на налягане.

Пиезоелектричните манометри преобразуват директно налягането в електрически потенциал. На фиг.3.4.13 е показана схемата на чувствителен елемент на пиезоелектрически манометър. Измерваното налягане се възприема от тънка метална мембрана 1, която предпазва чувствителния елемент от проникване на измерваната среда. Налягането на мембраната 1 чрез връзката 8 се предава на кварцовите пластинки 2 и 3. Между пластинките е монтиран електродът 7. Сферата 4 и капачката 5 служат за регулиране на контактното налягане между електрода и кварцовите пластинки. Щуцърът 9 служи за свързване на манометъра към контролираните тръбопроводи. Отрицателните заряди се отвеждат от кабела 6, а положителните от корпуса на уреда.

Недостатъците на пиезоелектричните манометри са: маломощен изходен сигнал; високо изходно съпротивление и трудности при измерване на статично изменящи се налягания. Използват се за измерване на налягане до 100 МРа.



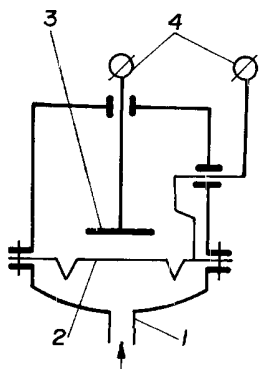
Фиг. 3.4.13. Пиезоелектрически манометър

#### Магнитоеластични манометри

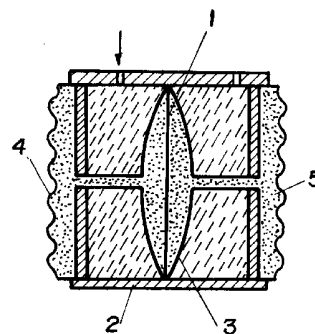
Разработени са въз основа на магнитоеластични преобразуватели. Магнитоеластичните преобразуватели имат по-силен изходен сигнал, което ги прави подходящи за измерване на ниски налягания. Недостатъците им са свързани с недостатъците на магнитоеластичните преобразуватели.

#### Капацитивни манометри.

Действието на капацитивните манометри се основава на изменението на капацитета на кондензаторна система, в зависимост от измерваното налягане. Устройството на капацитивен манометър е показано на фиг. 3.4.14. Между фланците на корпуса 1 е притисната метална мембрана 2, която представлява и единия електрод на кондензатора. Другият електрод е изпълнен чрез неподвижния диск 3. Измерваното налягане, което се подава чрез входа 1, изменя разстоянието между електродите 2 и 3 на кондензатора. В резултат на това се променя и капацитета на системата. Сигналят от електродите се сема и чрез изводите 4 се подава към усилвателя или към регистриращите устройства.



фиг.3.4.14. Капацитивен манометър



Фиг.3.4.15 - Диференциален капацитивен манометър

Широко приложение за измерване на разлика в налягане е намерил капацитивния диференциален манометър /фиг. 3.4.15/. Той се състои от мембрана 1, електроди 2 и 3, разделителни мембрани 4 и 5. При възникване на разлика в налягането на лявата и дясната част на манометъра, мембраната 1 се деформира, а разстоянието между нея и електродите 2 и 3 се изменя. Така се образуват два кондензатора, между мембраната и електрод 2 с капацитет  $C_1$  и между мембраната и електрод 3 с капацитет  $C_2$ . Между двата капацитета се получава разлика равна на

$$C = C_1 - C_2$$

Тази промяна на капацитетите се преобразува в електрически сигнал.

Капацитивните манометри притежават висока чувствителност, добри механични свойства и малки габаритни размери.

Недостатък на капацитивните манометри е силното влияние на паразитни капацитети, поради което се налага старателно екраниране на всички електрически вериги.

За значително намаляване на влиянието на капацитета на кабела, свързващ първичния преобразувател с електронната схема, последната се вгражда в преобразувателя. Такова конструктивно решение ограничава температурния интервал, в който може да работи измервателния преобразувател.

Мембраните за капацитивните преобразуватели се изработват от сплави с температурен коефициент на Юнг, близък до нулата. В случаите, ако мембраната работи като разделител, то тя се изработва от корозионно устойчиви сплави.

В качеството на буферна среда служеща едновременно като диелектрик, се използва силиконово масло или друга температурно-устойчива течност.

Капацитивните преобразуватели се използват за измерване на налягания на бързо изменящи се процеси и ниски налягания.

### 3.4.7. Електрически прибори за измерване на вакуум.

Уредите, които се използват за измерване на вакуум, се наричат вакуумметри. Те позволяват измерването на вакуум в интервала от 1330 до  $1330 \cdot 10^{-7}$  Pa. Съотношението между отделните измервателни единици е дадено в таблица 3.4.1.

За измерване на вакуум се използват следните прибори: вакуумметри на базата на термосъпротивления, измерват вакуум от 1330 -  $1330 \cdot 10^{-3}$  Pa; вакуумметри, изработени на основа на магнитоелектрозарядни устройства, измерват вакуум от  $1330 \cdot 10^{-3}$  -  $1330 \cdot 10^{-7}$  Pa; прибори с йонизационни преобразуватели, използват се за измерване на вакуум в интервала  $1330 \cdot 10^{-3}$  до  $1330 \cdot 10^{-7}$  Pa.

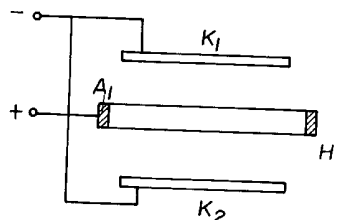
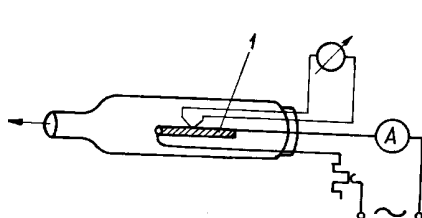
Таблица 3.4.1.

Единици	Pa	kg.f/m <sup>2</sup>	kg.f/m <sup>2</sup>	mm(H <sub>2</sub> O)	mm(Hg)
1	1	0.10197	0.10197.10 <sup>-4</sup>	0.10197	7.50.10 <sup>-3</sup>
1	9.80665	1	10	1	73.55.10 <sup>-3</sup>
1	98066.5	10 <sup>4</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	735.56
1	9.80665	1	10 <sup>-4</sup>	1	73.55.10 <sup>-3</sup>
1	133.322	13.595	13.595.10 <sup>-4</sup>	13.595	1

Принципната схема на вакуумметър, разработен на базата на термосъпротивления, е показан на фиг. 3.4.16. Термосъпротивление се явява нишката 1, която се нагрява с променлив ток. Амперметърът и реостатът, включени във веригата на термосъпротивлението, служат за поддържане на постоянна стойност на захранващия ток. Работният край на термодвойката е запоен в центъра на термосъпротивлението. Термоелектродвижещата сила се измерва чрез милivolтметър, включен във веригата на термодвойката.

Вакуумметърът е изработен като стъклен балон, единият край на който се свързва с изследвания обект. Термосъпротивлението е разработено въз основа на платинова нишка с диаметър 100 mm, а токът, който се индукира, се изменя в границите от 200 до 280 mA.

Вакуумметърът мери с голяма грешка, достигаща до 20 %, поради което се използва коригираща крива за отчитане на действителните стойности на вакуума.



Фиг. 3.4.16. Вакуумметър Фиг.3.4.17. Ускоряващо устройство

В магнито-електрозарядните вакуумметри се използва явлението електрическо разреждане на газ в магнитно поле с високо напрежение до 3000 V.

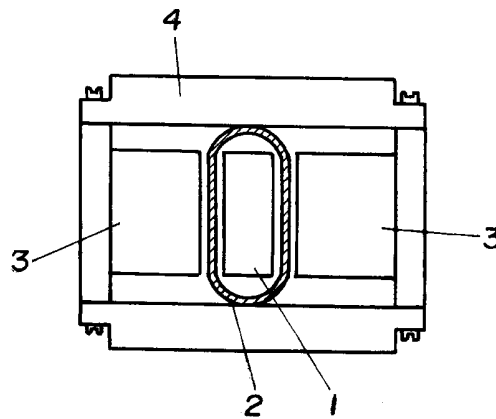
В силно електромагнитно поле траекториите на електроните се изкривяват, поради което те силно увеличават дължината на свободния си пробег. Това увеличава вероятността от сблъскване с неутрални молекули на газа и възникване на йонизация на тези молекули.

На фиг. 3.4.17 е показано устройство за удължаване на свободния пробег на електрони. Ако в електрическо поле, създавано от катодите K<sub>1</sub> и K<sub>2</sub> и

пръстеновидния анод А, действува магнитно поле с напрегнатост  $H$ , то електроните ще се преместват от катода към анода и ще извършват сложно движение по спирала. Пътят на електродите се увеличава многократно, поради което измерването налягане в интервала от  $1530 \cdot 10^{-3}$  до  $1330 \cdot 10^{-5}$  Pa, може да се осъществява без допълнително токово захранване на катода.

На Фиг. 3.4.18. е показан магнитоелектрозаряден вакуумметър. Пръстенът 1, който изпълнява ролята на анод е поместен в кутията 2, изпълняваща ролята на катод. Катодът 2 е монтиран между полюсните накрайници 3 на постоянния магнит 4 и се намира извън вакуума. Чрез тръба вакуумметъра се свързва с изследвания обект.

За измерването на вакуум се използват и йонизационни вакуумметри. Те са разработени на база на йонизационни преобразуватели, действието на които е разгледано в Глава трета на втора част.



фиг. 3.4.18. Магнитозаряден вакуумметър