



RS Global

Warsaw 2020



С.Г. Хан, Л.К. Ибраева, Ж.С. Тлеубаева

ӨЛШЕУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

ОҚУ ҚҰРАЛЫ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Коммерциялық емес акционерлік қоғам
«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және
байланыс университеті»

С.Г. Хан, Л.К. Ибраева, Ж.С. Тлеубаева

ӨЛШЕУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

Оқу құралы

RS Global
Warsaw, Poland
2020

УДК 389.14

DOI: 10.31435/rsglobal/021

*ҚР Білім Министрлігінің 2020 ж.
баспа жоспары бойынша басылады*

Пікір берушілер:

техника ғылымдарының докторы, К.И.Сәтпаев атындағы КазҰТЗУ
«Автоматтандыру және басқару» кафедрасының профессоры
Б.А. Сулейменов,
техника ғылымдарының докторы, «AlmaU» Университетінің профессоры
С.К. Исакова,
АЭЖБУ Университетінің «Электроника және робототехника»
кафедрасының доценті Е.О. Елеукулов

С.Г. Хан, Л.К. Ибраева, Ж.С. Тлеубаева

Өлшеудің техникалық құралдары: Оқу құралы. – Warsaw: RS Global
Sp. Z O.O., АЭЖБУ, 2020. – 108 б.

Редактор - Л.К. Ибраева, техника ғылымдарының кандидаты, профессор

ISBN 978-83-960097-1-5

Ұсынылып отырған оқу құралында жылуэнергетикалық процестерді
автоматтандыруда қолданылатын негізгі әдістері мен өлшеу құралдары
қарастырылады. Сұйықтық, газ, бу және басқа да шамалардың
температурасын, қысымын, шығынын өлшеудің әдістемесі мен өлшеу
құралдары сипатталады.

Оқу құралы «6B07108 – Автоматтандыру және басқару» мамандығының
студенттеріне арналған.

ISBN 978-83-960097-1-5

КЕАҚ «Ғұмарбек Дәукеев атындағы
Алматы энергетика және байланыс
университеті», 2020 ж.
Хан С.Г., 2020
Ибраева Л.К., 2020
Тлеубаева Ж.С., 2020
RS Global Sp. z O. O., 2020

МАЗМҰНЫ

Кіріспе.....	5
1 тарау Температураны өлшеу.....	7
1.1 Жалпы мәліметтер.....	7
1.2 Манометрлік термометрлер.....	10
1.3 Термоэлектрлі түрлендіргіштер (ТЭТ).....	14
1.4 ТЭТ сигналдарын өлшеу құралдары.....	23
1.5 Кедергі термотүрлендіргіштер (КТТ).....	32
1.6 КТТ-пен бірге жұмыс істейтін өлшеу құрылғылары.....	33
1.7 Жылулық сәулеленуді өлшеу.....	40
1.8 Жылулық сәулеленуді өлшеу құралдары.....	44
1.9 Бірінші тарауға бақылау сұрақтары.....	48
2 тарау Қысымды өлшеу.....	50
2.1 Жалпы мәліметтер.....	50
2.2 Гидростатикалық теңестірілген қысымды өлшеу сұйықтық құралдары.....	52
2.3 Деформациялық қысымды өлшеу құралдары.....	56
2.4 Қысымды өлшеуге жалпы әдістемелік нұсқаулықтар.....	65
2.5 Екінші тарауға бақылау сұрақтары.....	66
3 тарау Сұйықтық, газ және будың мөлшері мен шығынын өлшеу.....	67
3.1 Жалпы мәліметтер.....	67
3.2 Көлемдік санағыштары.....	67
3.3 Жылдамдық санағыштары.....	69
3.4 Қысымның айнымалы құлау принципіне негізделген шығын өлшегіштері.....	70
3.5 Ағынмен айналып өтетін шығын өлшегіштер.....	73
3.6 Электромагниттік шығын өлшегіштер.....	74
3.7 Ультрадыбыстық шығын өлшегіштер.....	78
3.8 Тахометриялық шығын өлшегіштер.....	81
3.9 Жылулық шығын өлшегіштер.....	82
3.10 Кориолис массалық шығын өлшегіш.....	83
3.11 Үшінші тарауға бақылау сұрақтары.....	88
4 тарау Деңгейді өлшеу.....	89
4.1 Жалпы мәліметтер.....	89
4.2 Қалтқылы деңгей өлшегіштер.....	89

4.3	Бүектік деңгей өлшегіштер.....	90
4.4	Гидростатикалық деңгейді өлшеу құралдары.....	91
4.5	Деңгейді өлшеудің электрлік құралдары.....	92
4.6	Деңгейді өлшеудің акустикалық құралдары.....	94
4.7	Төртінші тарауға бақылау сұрақтары.....	95
5 тарау	Сұйықтықтар мен газдардың физика – химиялық қасиеттерін өлшеу.....	96
5.1	Тығыздықты өлшеу құралдары.....	96
5.2	Сұйықтықтың тұтқырлығын өлшеу құралдары.....	99
5.3	Бесінші тарауға бақылау сұрақтары.....	102
6 тарау	Концентрацияны өлшеу.....	103
6.1	Жалпы мәліметтер.....	103
6.2	Магниттік газанализаторлар.....	104
6.3	Оптикалық газанализаторлар.....	105
6.4	Алтыншы тарауға бақылау сұрақтары.....	107
7 тарау	Сұйықтықтың құрамын талдау.....	108
7.1	Жалпы мәліметтер.....	108
7.2	Ерітінділерді талдаудың кондуктометрлік әдісі.....	108
7.3	Ерітінділерді талдаудың потенциометрлік әдісі.....	110
7.4	Жетінші тарауға бақылау сұрақтары.....	114
	Әдебиеттер тізімі.....	115
	Қосымша.....	116

Кіріспе

XXI ғасыр ғылым мен өнеркәсіп өндірісінің жедел дамуымен сипатталады. Осы даму түрлі өлшемдер және өлшеу құралдарының кең қолданылуымен орындалады. Қазіргі әлемде өлшеу техникасының орнын келесі мәліметтер сипаттай алады. Өлшеу техникасына арналған шығындар қазіргі уақытта қоғамдық өндіріске арналған барлық материалдық шығындардың 10-15% - ын құрайды, ал мұнай өңдеу, мұнай-химия, радиоэлектрондық, ұшақ жасау және басқа өнеркәсіп салаларында бұл шығындар 25% - ға жетеді. Қазіргі уақытта өлшеусіз адам қызметінің бірде-бір саласы бола алмайды.

Өлшеу техникасының негізгі тұтынушысы – өнеркәсіп. Мұнда өлшеу техникасы технологиялық процестерінің ажырамас бөлігі, себебі олар өнеркәсіптерде өнім мен шикізат сапасын және басқада процестерді бақылауға қолданылатын әртүрлі режимдік параметрлер жайлы ақпарат алу үшін қолданады.

Технологиялық процестің сипатына қарай өнеркәсіптің әртүрлі саласындағы өндірістерді келесі екі топқа бөлуге болады: *үздіксіз* және *дискретті* сипаттары бар технологиялық процестер. Бірінші топтың мысалы ретінде келесідей өнеркәсіптердің өндірістерін атауға болады: мұнай және газ өңдеу, мұнай-химия, металлургия, *жылу энергетика*, т.б.; екінші топтың өндірістері: машина құру, аспап жасау, радиоэлектроника, тамақ өнеркәсібі, т.б.

Үздіксіз сипаты бар технологиялық процестерде (ТП) температура, қысым, шығын, деңгей және зат мөлшері сияқты параметрлерді өлшеу жалпы өлшеулердің санының 86% құрайды, ал дискретті сипаты бар технологиялық процестерде көбінесе бұйымдар саны, ұзындық, уақыт, электр шамалар өлшенеді, бұл өлшеулер 75% құрайды.

Өндіріске келгеннен кейін жас маман, өлшеу жұмыстарымен тура немесе жанама байланысты болады, сондықтан көптеген өлшеу есептерімен кездеседі. Өлшеу әдістері мен құралдарын оқуын жеңілдету үшін «Өлшеудің техникалық құралдары» пәні көмектеседі.

Сауатты инженерлік маман болу үшін *өлшеулер әдістері мен физикалық шамаларының өлшеу құралдарын құрастырудың негізгі принциптерін* оқу және игеру керек. Сонымен қатар, ең алдымен өлшеу әдістерін білу керек. Себебі, өлшеу әдістері мен аспаптардың жұмыс жасауының физикалық принциптері тұрақты компоненттер болып келеді, ал өлшеу құралдардың белгілі сұлбалық шешімдері мен элементтік базасы үздіксіз өзгереді және жетілдіріледі.

Өлшеулер күрделілігі және әрекет принциптері әртүрлі болатын арнайы *техникалық өлшеу құралдарымен* орындалады.

Өлшеу құралдары (ӨҚ) деп нормаланған метрологиялық сипаттамасы бар өлшеуде қолданылатын техникалық құралдарды айтады.

ӨҚ-ның негізгі түрлері *өлшегіштер*, өлшегіш құрылғылар (*аспаптар және түрлендіргіштер*). Халық шаруашылығының барлық салаларында практикалық күнделікті өлшеулерге арналған барлық өлшегіштер, аспаптар мен түрлендіргіштер *жұмыс ӨҚ* деп аталады. Олар жоғары дәлдікті (зертханалық) және *техникалық* деп бөлінеді. Өлшеулерді орындау үшін қызмет ететін *техникалық ӨҚ* жиынтығы, өлшеулерді жүргізу және олардың нәтижелерін интерпретациялау әдістері мен тәсілдері *өлшеу техникасы* түсінігімен анықталады.

Бұл оқу құралы «Техникалық өлшеу құралдары» пәні бойынша орыс тіліндегі оқу құралының [7] қазақ тіліне аудармасы болып табылады.

Ұсынылып отырған оқу құралының әр тарауы белгілі физикалық шаманы өлшеу сұрақтарына арналған. Оқу құралының бірінші тарауында кең тараған технологиялық параметрді – температураны өлшеу принциптері мен температураны өлшеудің негізгі құралдарының жұмыс принциптері қарастырылған. Екінші тарау қысымды өлшеу сұрақтарына және қысымды өлшеу құралдарына арналған. Үшінші тарауда сұйықтық, газ және бу мөлшері мен шығынын өлшеудің негіздері мен өлшеу құралдары қарастырылған; электрмагнит, ультрадыбыс және кориолис шығын өлшегіштердің сұлбалары мен әрекет принциптері келтірілген. Төртінші тарау деңгейді өлшеу сұрақтары мен өлшеу құралдарына, ал бесінші тарау - сұйықтық пен газдың физика – химиялық қасиеттерін, 6 тарау - концентрацияны өлшеу және өлшеу құралдарына арналған. Жетінші тарауда сұйықтық құрамын талдау сұрақтары қарастырылады: кондуктометрлік және потенциометрлік ерітіндіні талдау әдістері мен сәйкес анализаторлардың әрекет принциптері. Әр тараудың соңында бақылау сұрақтары келтірілген.

Қазіргі уақытта көптеген техникалық терминдердің қазақ тіліне аудармасы әлі бекітілген жоқ. Осыған байланысты оқулықтың соңында авторлар өз аудармаларының шағын сөздігін орналастырды.

Оқу құралы авторлардың біраз жылдары бойы Гумарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінің «Автоматтандыру және басқару» мамандығының студенттеріне арналған дәрістер курсына негізделген.

1 тарау. Температураны өлшеу

1.1 Жалпы мәліметтер

Дененің қызу деңгейін сипаттайтын физикалық шама *температура* деп аталады. Технологиялық процестердің барлығы және заттың түрлі қасиеттері температураға тәуелді.

Дененің тікелей өлшенетін физикалық қасиеттерінің температураға тәуелді болатынын есепке алып, температураны тек қана жанама жолмен өлшей аламыз. Бұл қасиеттер *термометриялық* деп аталады. Оларға ұзындық, көлем, тығыздық, термоЭҚК, электр кедергі және т.б. жатады. Термометриялық қасиеттерімен сипатталатын заттар *термометриялық* заттар деп аталады.

Температураны өлшейтін құрал *термометр* деп аталады. Термометрді құрастыру үшін *температуралық шкалаға* ие болуымыз керек.

Өлшенетін термометриялық қасиеттің мәндерімен температураның нақты функционалдық сандық байланысын температура шкаласы деп атайды. Алғашқы температуралық шкалалар (1.1 кесте) температура мен термометрлік қасиет ретінде қолданылған сұйықтық көлемінің ұлғаюы арасындағы сызықтық байланысы болуында негізделген.

Температуралық шкаланы құрастыру үшін таза заттардың фазалық тепе-теңдігінің температуралары болып табылатын t_1 және t_2 тірек (реперлік) нүктелері таңдалынады. ($t_2 - t_1$) аралығы температуралық интервал деп аталады. Фаренгейт (1715 ж.), Цельсий (1742 ж.) және Реомюр (1776 ж.) шкалаларында t_1 мұздың еру нүктесі, сәйкесінше $+32^\circ\text{F}$, 0°C , 0°R , ал t_2 судың қайнау нүктесі 212°F , 100°C , 80°R болып келеді. Бұл шкалаларда ($t_2 - t_1$) сәйкесінше $N=180$, 100 , 80 тең бөліктерге бөлінеді. Әр интервалдың $1/N$ бөлігі Фаренгейт градусы - $^\circ\text{F}$, Цельсий - $^\circ\text{C}$ градусы және Реомюр - $^\circ\text{R}$ градусы деп аталады. Сонымен, градус бұл шкалаларда өлшем бірлігі болмайды, тек бірлік аралығын – шкала масштабын құрайды. Сондықтан мұндай шкалалар *шартты* деп аталады.

1.1 кесте – Шартты температуралық шкалалар

Шартты температуралық шкалалар	Фаренгейт шкаласы ($^\circ\text{F}$)	Цельсий шкаласы ($^\circ\text{C}$)	Реомюр шкаласы ($^\circ\text{R}$)
Мұздың еру температурасы	32	0	0
Судың қайнау температурасы	212	100	80
$1^\circ =$	1/180	1/100	1/80

Бірдей термометрлік қасиет пен бірдей қалыпты градустық шкалаға ие түрлі *термометрлік заттарды* (мысалы, сынап, спирт, т.б.) қолданатын

термометрлердің көрсеткіштері тек *реперлік нүктелерде* (мұздың еру температурасы мен судың қайнау температурасы) *бірдей болады*, ал басқа нүктелерінде көрсетулер әр түрлі. Бұл t^0 мен термометриялық қасиеттің арасындағы аралық байланысы сызықты емес болуымен анықталады.

Заттардың термометриялық қасиеттерінен тәуелсіз температуралық шкаланы жасау мәселесінің шешімін 1848 жылы Кельвин тапқан. Ол ұсынған шкала *термодинамикалық* деп аталды.

Температураның термодинамикалық шкаласы *жылу динамиканың екінші заңын* қолдануында негізделген: Карно кері циклі бойынша жұмыс істейтін жылу машинаның пайдалы әсер коэффициенті тек қана қыздырғыш пен тоңазытқыш температураларымен анықталады және жұмыс затының қасиетіне тәуелсіз болып келеді. Алынған температура шкаласы жұмыс (термометриялық) затының қасиетіне тәуелсіз және *абсолютті шкала* деп аталады. Абсолютті температураның белгілі бір мәні болу үшін, су қайнауының және мұздың еруінің нүктелерінің арасындағы термодинамикалық температуралардың айырымын 100°C тең деп қабылдауға ұсыныс жасалған. Мұндай айырым мәнін қабылдау мақсаты - термодинамикалық температуралық шкаласының сандық өрнегі Цельсийдің жүз градус температуралық шкаласында мирасқорлығының сақталуы. Сонымен, екі шкала да бірдей репер нүктелеріне негізделуінен, 1 Кельвин градусы (1K) Цельсийдің 1 градусына (1°C) сәйкес келеді. Осындай температуралық шкаланы іске асыру үшін *газдық термометр* құрылған. Газдық термометр идеалды газға жақын термометриялық затпен толу себебінен оның жұмысы идеал газ заңдарына негізделген. Тәжірибе жүзінде газдың қысымы нөлге ұмтылатын жағдайда, $0\div 100^{\circ}\text{C}$ температуралар интервалында, газдың көлемдік кеңеюдің температуралық коэффициенті $\beta = \frac{1}{273,15}$. Осылайша абсолют температураның нөлдік мәні ($-273,15^{\circ}\text{C}$) сәйкес. Осы шкала бойынша мұздың еру температурасы 273,15 K. Менделеев Д.И. (1874 ж.) және бір мезгілде одан тәуелсіз Кельвин термодинамикалық температура шкаласын 1 репер нүктесі – судың үштік нүктесі бойынша СҮН (судың қатты, сұйық, газ тәрізді фазаларындағы фазалық тепе-теңдік нүктесі) құруды ұсынды. Бұл нүкте 0,0001 K аспайтын қателігімен оңай жүзеге асады. Осы нүкте температурасы СҮН = 273,16 K деп қабылданған, яғни мұздың еру температурасынан 0,01K-ге артық. Екінші репер нүктесі тәжірибеде жүзеге асырылмайтын, бірақ бекітілген мәні бар абсолютті нөл болып табылады.

1967 жылы XIII өлшем және салмақ бойынша Генералды Бас конференция термодинамикалық температура анықтамасын келесі редакцияда түрде ұсынды: «*Кельвин* - судың үштік нүктесінің термодинамикалық температурасының $1/273,16$ бөлігі»: $1\text{K} = 1/273,16 \text{ СҮН}$. Сонымен қатар, термодинамикалық температура Цельсий градусымен де көрсетілуі мүмкін: $t^{\circ}\text{C} = T - 273,15 \text{ K}$.

Қазіргі таңда ХІІІ өлшем және салмақ бойынша Бас конференция қабылдаған «Халықаралық практикалық температуралық шкала 1968» МПТШ-68 пайдаланылуда, ол 13,956-ден 3660 К-ге дейінгі (-259,194°С-ден 3387°С дейін) диапазонды қамтитын 11 негізгі және 27 екіншілік репер нүктелеріне негізделген. 1.2 кестеде МПТШ-68-ің негізгі репер (тұрақты) нүктелері келтірілген.

1.2 кесте – МПТШ-68-ің негізгі репер нүктелері

№	Фазалық тепе-теңдік күйі	Температура мәні	
		К	С
1	Қатты, сұйық және бу күйіндегі сутегі тепе-теңдік фазалары арасындағы тепе-теңдік (тепе-теңдік сутегінің үштік нүктесі)	13,81	-259,34
2	Тепе-тең сутегінің 33,30 кПа (250 мм рт.ст) қысымдағы сұйық және бу күйіндегі фазалары арасындағы тепе-теңдігі	17,042	-256,108
3	Тепе-тең сутегінің сұйық және бу күйіндегі фазалар арасындағы тепе-теңдігі (тепе-тең сутегінің қайнау нүктесі)	20,28	-252,87
4	Неонның сұйық және бу күйіндегі фазаларының тепе-теңдігі (неонның қайнау нүктесі)	27,102	-246,048
5	Оттегінің қатты, сұйық және бу күйіндегі фазалары арасындағы тепе-теңдік (оттегінің үштік нүктесі)	54,361	-218,789
6	Сұйық және бу күйіндегі оттегі фазалары арасындағы тепе-теңдік (оттегінің қайнау нүктесі)	90,188	-182,962
7	Қатты, сұйық және бу күйіндегі су фазалары арасындағы тепе-теңдік (судың йүштік нүктесі)	273,16	0,01
8	Сұйық және бу күйіндегі су фазалары арасындағы тепе- теңдік (судың қайнау нүктесі)	373,15	100
9	Қатты және сұйық күйіндегі цинк фазалары арасындағы тепе- теңдік (цинктің катаю нүктесі)	692,73	419,58
10	Қатты және сұйық күйіндегі күміс фазалары арасындағы тепе-теңдік (күмістің катаю нүктесі)	1235,08	961,93
11	Қатты және сұйық күйіндегі алтын фазалары арасындағы тепе-теңдік (алтынның катаю нүктесі)	1337,58	1064,43

Ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында температураны өлшеудің көптеген түрлері мен принциптері қолданылады. Мұнай өңдеу және жылу энергетика саласында температураны өлшеу құралдарының келесі түрлері кең қолданыста. Қолданылатын термометрлік қасиеттеріне қарай олардың классификациясы 1.3 кестесінде көрсетілген.

1.3 кесте – Температураны өлшеудің техникалық құралдары

Термометриялық қасиеттері	Өлшеу құралдарының атауы	Өлшеу диапазоны, С
Тұрақты көлемдегі жұмыс затының қысым өзгерісі	Манометрлік термометр: - газдық - сұйықтық - конденсациялық	-150÷600 -150÷600 -50÷350
Термоэлектрлік эффект (термоЭҚК)	Термоэлектрлік түрлендіргіш	-200÷2200
Электрлік кедергі өзгерісі	Кедергі термотүрлендіргіші: - металдық - жартылай өткізгіштік	-260÷1100 -240÷300
Жылулық сәулелену	Сәулелену пирометрі	1400÷6000

1.2 Манометрлік термометрлер

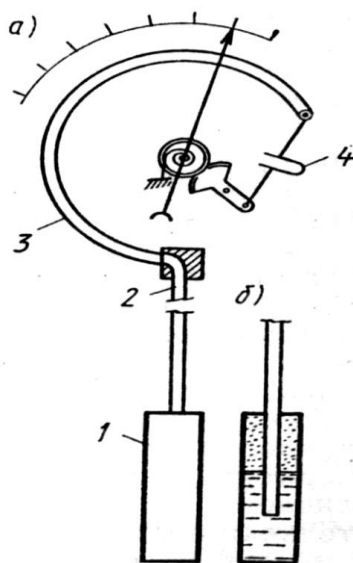
Тұйықталған герметикалық термोजүйедегі жұмыс (термометриялық) заттың қысымы мен температурасы арасындағы тәуелдікті қолдануда манометрлік термометрлердің әрекеті негізделеді. Манометрлік термометрлер техникалық аспап болып табылады және термोजүйенің жұмыс затына қарай газдық, сұйықтық және конденсациялық (бу-сұйықтық) болып бөлінеді. Термोजүйенің жұмыс затына қарай оларды сұйық және газ түріндегі орталардың -150°C-тан +600°C-қа аралығында температурасын өлшеуге қолданады. Арнайы толтырғышы бар термометрлер 100°C-тан +1000°C-қа дейін температураны өлшеуге арналған.

Манометрлік термометрлер *көрсетуші* және *жазушы* болады. Термометрлердің кейбір түрлері температураны хабарлауға (немесе реттеуге) арналған қосымша құрылғыларымен бірге жасалады, және 0-5 мА тұрақты токтың унифицирленген шығу сигналы болатын жіберу түрлендіргіші немесе шығудағы 0,2-1 кгс/кв.см (0,02-0,1 МПа) унифицирленген пневматикалық сигналы болатын жіберу түрлендіргішімен жабдықталады.

Көрсететін манометрлік термометрдің құрылымының сұлбасы 1.1 суретте келтірілген. Термометрдің термोजүйесі температурасы өлшенетін ортаға жүктелетін 1 термобаллоннан, 2 капиллярдан және 3 манометрлік серіппеден тұрады. Серіппенің бір ұшы манометрлік серіппенің ішкі қуысын капилляр арқылы термобаллонмен байла-ныстыратын ұстағышқа дәнекерленген

Ал серіппенің екінші бос ұшы герметизацияланған және шарнирлі түрде өсінде сілтегіш нұсқаушысы орналасқан секторлық беріліс механизмімен байланысқан. Термометрдің термо-жүйесі кейбір бастапқы қысымда жұмыс затымен, мысалы, газ (немесе сұйықтық) толтырылған. Термобаллонды қыздыру кезінде тұйықталған герметизацияланған термोजүйеде газ қысымы ұлғаяды, нәтижесінде серіппе деформацияланады (бұралады), оның бос ұшы

орын ауыстырады. Серіппенің бос ұшының қозғалысы температура есептелетін аспаптың шкаласына сәйкес нұсқау- шының қозғалуына әкеледі.



1.1 сурет – Манометрлік термометр

Серіппе температурасының қалыпты мәнінен (20°C) ауытқу себебінен, газдық және сұйықтықтық термометрлердің температуралық қателіктерінің азайту үшін беріліс механизмінің белбеуіне 5 термобиметалдық компенсаторды орнатады.

Термобалон мен капиллярдың қорғау гильзасы 1X18Н9Т маркалы болаттан жасалады, сондықтан аспапты қорғау гильзасыз 6,4 МПа-ға дейінгі, ал қорғау гильзамен 6,4-25 МПа-ға дейінгі шартты қысымдарда қолдануға мүмкіндік болады.

Газдық манометрлік термометрлер (ГМТ). Осындай термометрлер 150°C-тан +600°C-ға дейінгі температураларды өлшеуге мүмкіндік береді. Жұмыс заты – азот. Байланыстыру капиллярдың ұзындығы 0,6-60 м. Газдың тұрақты көлемінде оның қысымы мен температурасының тәуелділігі келесі өрнекпен анықталады:

$$p_t = p_0(1 + \beta t), \quad (1.1)$$

мұндағы $p_0 - t = 0^\circ\text{C}$ - дағы газ қысымы;

β - газ қысымының термиялық коэффициенті, K^{-1} .

Термометрдің термобаллонындағы газ температурасы t_6 -дан t_c -ға дейін өзгерген кезде газдың қысымы да келесі өрнекке сәйкес өзгереді:

$$p_k = \frac{p_6(1+\beta t_c)}{1+\beta t_6}, \quad (1.2)$$

мұнда, p_6 және p_c – термометр шкаласының бастапқы t_6 және соңғы t_c температураларына сәйкес газдың қысымы.

Түрлендірулерден кейін мына формуланы аламыз:

$$\Delta p = p_c - p_6 = \frac{p_6\beta(t_c - t_{H6})}{1+\beta t_6}. \quad (1.3)$$

Газды термометрдің термोजүйесіндегі жұмыс қысым шамасы Δp бастапқы қысымның p_6 мәні мен құралдың өлшеу ауқымына ($t_c - t_6$) тура пропорционал болатынын осы өрнектен көруге болады. Термометрдің термобаллонының температураласы жоғарылағанда, термобаллонның кеңейіу және манометрлік серіппенің ішкі қуысының көлемінің үлкею негізінде термोजүйе көлемі де үлкейеді. Газ температурасының өсуіне, ал сонымен бірге қысымның да бірге өсуіне байланысты, газдың термобаллоннан капиллярға және манометрлік серіппеге жартылай ағылуы орындалады. Термобаллондағы газ температурасы төмендеу кезінде кері процесс пайда болады. Осының себебінен термोजүйедегі температураны газды термометрмен өлшегенде жүйеде газ көлемінің тұрақтылығы сақталынбайды. Сондықтан термोजүйедегі газ қысымы мен оның температурасы аралығында тәуелділік сызықтықтан шамалы ауытқиды, және термोजүйедегі температураның t_c шамасында нақты газ қысымы (1.2) формуламен есептелген шамадан кіші болады. Бірақ бұл бейсызықтық маңызды рөл атқармайды және газды термометр шкаласы іс жүзінде қалыпты болады.

Термобаллонның өлшемдері үлкен болғандықтан (диаметрі - 20 мм, ұзындығы – 125 мм-500 мм) газды термометрлерін барлық жерде қолдану мүмкін емес.

Манометрлік конденсациялық термометр (МКТ). МКТ термобаллоны ішінара конденсатпен толтырылған (шамамен 0,7-0,75 көлемінде), ал термобаллонның жоғарғы бөлігінде конденсаттың үстінде осы сұйықтықтың қаныққан буы орналасады. Манометрлік серіппе және термометрдің капилляры термобаллондағы конденсатпен толтырылған.

МКТ келесі – 50°C-тан 300°C-қа дейін өлшемдердің шектерімен шығарылады. Конденсат ретінде өлшеу шектері – 25°C -тан 80°C-қа дейін фреон-22, өлшеу шектері – 50°C -тан 60°C-қа дейін пропилен, өлшеу шектері – 0-ден 125°C-қа дейін хлорлы метил, өлшеу шектері +100-ден 200°C-қа дейін ацетон, өлшеу шектері +160-тан 300°C-қа дейін этиленбензол және т.б. қолданылады.

МКТ терможүйесінің қысымы термобаллондағы қаныққан будың қысымына тең. Қаныққан бу қысымы және температурасы аралығындағы тәуелділік анықты, бірмағналы және терможүйенің термометрі толтырылған конденсат үшін белгілі болып табылады. Бірақ, қаныққан бу қысымының температурадан бірмағналы тәуелділігі тек қана анықталған, *критикалық* деп аталатын температурада сақталады.

МКТ-ның көрсеткіштері термобаллонның аспап корпусына қатысты орналасуына (жоғары немесе төмен), сондай-ақ, атмосфера қысымының өзгеруіне тәуелді болып келеді. Сонымен бірге, термометр көрсеткішінің қателігі шкала соңына қарағанда, шкала басында көп болады, себебі шкала соңында капиллярдағы жұмыс сұйықтық қысымы терможүйедегі жалпы қысымнан әлдеқайда аз болады.

Сұйықтық манометрлік термометр (СМТ). СМТ терможүйелерін толтыру үшін пропиленді алкоголь, метансилол, силиконды сұйықтық және т.б. қолданылады. СМТ температураны 150-300 диапазонында өлшеуге мүмкіндік береді. Олар белгілі бір интервалдағы температураны өлшеудің әр түрлі диапазондарымен шығарылады. СМТ шкаласы практикалық түрде бірқалыпты болады.

СМТ газдық және конденсациялық термометрлерден айырықша, себебі толтыру сұйықтық ретінде қолданылатын сұйықтықтар практикалық түрде сығылмайтын болып табылады. Бұл типті термометрлерде анықталған жұмыс сұйықтық үшін термобаллон көлемі келесілермен сәйкестірілуі керек: өлшеу аспаптың өлшеу диапазонымен, манометрлік серіппенің бос шетінің жұмыс қозғалысында оның ішкі қуыс аумағының өзгеруімен, және терможүйедегі қысымның өзгеруімен.

Термобаллонды t_0 -дан t_c -ға дейін қыздыру кезінде сұйықтық кеңейеді, ал термобаллон өзінің көлемін ұлғайтады. Бірдей басқа шарттарда СМТ өлшеу диапазоны қаншалықты көп болса, ішкі термобаллон көлемі соншалықты кіші болуы керек. Мысалы, СМТ өлшеу диапазоны 40°C-тан 80°C-қа дейінгі термобаллон қорабының ұзындығы 110 мм-ге тең, ал 60°C-тан 310°C-қа дейінгі диапазонда ұзындығы 18 мм-ге тең. Екі жағдайда да термобаллон диаметрі 12 мм-ге тең.

Конденсациялық және газды термометрлерден айырықша СМТ-ның терможүйесіндегі жұмыс қысымы бастапқы қысым және t_c , t_0 температуралардан қатаң тәуелділікпен байланысқан емес. Атмосфера қысымының өзгерісі сұйықтық термометрінің көрсеткішіне іс жүзінде әсер етпейді.

Манометрлік термометрдің негізгі метрологиялық сипаттамалары. Манометрлік термометрлердің (МТ) жұмысы қоршаған орта ауасының температурасы 5°C-тан 50°C-қа дейін және салыстырмалы ылғалдылық 80%-ға дейінгі жағдайларға негізделген. МТ келесі дәлдік кластарымен шығарылады: 1,0; 1,5; 2,5 және 4.

Қоршаған орта температурасының 20°C -тан келесі 5°C -тан 50°C -қа интервалдың кез келген мәніне ауытқуынан пайда болатын МТ көрсеткішінің өзгерісі келесі формула бойынша есептелетін мәннен артпауы керек:

$$\delta_t = \pm(X + \alpha_t \Delta), \quad (1.4)$$

мұндағы δ_t - термометр өзгерісінің көрсеткіші, өлшеу диапазонының % -мен көрсетілген;

X – термометр көрсеткішінің рұқсат етілген тұрақсыздығының мәні, рұқсат етілетін негізгі қателік шегінің жартысына тең, %;

α_t – $^{\circ}\text{C}$ -тің %-мен көрсетілетін термометрдің температуралық коэффициенті (газдық термометрлер үшін 0.05; конденсациялық үшін 0,04; сұйықтық үшін 0.075 және арнайы толтырғышы бар аспаптар үшін 0.035 тең болады);

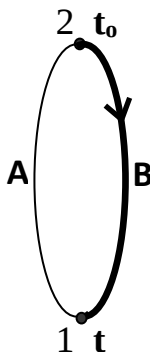
Δt – қоршаған ортаның температурасының 20°C -тан ауытқуының абсолютті мәні.

1.3 Термоэлектрлі түрлендіргіштер (ТЭТ)

Температураны термоэлектрлі термометрмен яғни термоэлектрлі түрлендіргіштерімен (ТЭТ) өлшеу 1821 жылы Зеебекпен ашылған термоэлектрлік эффектіні қолдануда негізделген.

Термоэлектрлі түрлендіргіш - екі немесе бірнеше өзара қосылған *әр текті* өткізгіштердің тізбегі (1.2 сурет)

Зеебек эффектісі: егер де екі өзара қосылған *әр текті* өткізгіштерді алып, дәнекершілеулерін $t \neq t_0$ болатындай қыздыр- сак, бекітілген тізбекте электр ток өтеді.



1.2 сурет – ТЭТ

Егер де $t > t_0$ болса, онда тоқтың бағытталуы 1.2 суреттегідей (1 дәнекерленушіде B -дан A -ға дейін) болады. A , B - термоэлектродтар; 1,2- дәнекерленушілер. Осындай тізбек ажыратылған кезде, оның ұштарында термоЭҚК пайда болады.

Зеебектің эффектiсiнiң керi қасиетi бар (*Пельтье эффектiсi*): егер осындай тізбекке сырттан электр тоқ берiлсе, онда тоқтың бағытталуына тәуелдi дәнекерленушiнiң бiреуi қыза бастайды, ал басқасы суыйды.

Температурасы төмен дәнекерленушiдентoқ басқа термоэлектродқа баратын термоэлектродты оң таңбалы «+», ал басқа электрод – терiс «-» деп есептеледi. Мысалы, $t_0 < t$ болса, онда 2 дәнекерленушiдегiтоқ A -дан B -ға ағады, онда A - термооң, B - термотерiс термоэлектродтар. t температурасы өлшенетiн объектiге салынатын дәнекерленушi *жұмыс дәнекерленушi* (1 дәнекерленушi), ал объектiден тыс дәнекерленушi - *бос дәнекерленушi* (үшi) деп аталады (2 дәнекерленушi).

Келесiдей белгiлердi қолданамыз:

$e_{AB}(t) - t=t$ болғанда 1 дәнекерленушiдегi A мен B термоэлектродтар арасындағы термоЭҚК;

$e_{AB}(t_0) - t = t_0$ болғанда 2 дәнекерленушiдегi A мен B термоэлектродтар арасындағы термоЭҚК;

$E_{AB}(t, t_0)$ – жұмыс дәнекерленушiнiң температурасы t және бос дәнекерленушiнiң температурасы t_0 болғанда A және B термоэлектродтардан тұратын контурдың термоЭҚК-шi.

$e_{AB}(t) = - e_{BA}(t)$; $e_{AB}(t_0) = - e_{BA}(t_0)$ деп қабылдайық. Онда тұйық тізбек үшiн (1.2 сурет):

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0)$$

немесе

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0). \quad (1.5)$$

(1.5) теңдеуi – *ТЭТ-ің негiзгi теңдеуi* деп аталады.

Егер 1 және 2 дәнекерленушiлер бiрдей температураға ие болса ($t=t_0$), онда әрбiр дәнекерленушiдегi контактілі термоЭҚК бiр-бiрiне тең және қарама – қарсы бағытталған, сонымен осындай контурдың $E_{AB}(t, t_0)$ термоЭҚК-і нөлге тең болады:

$$E_{AB}(t_0, t_0) = e_{AB}(t_0) - e_{AB}(t_0) = 0.$$

Егер $t_0 = \text{const}$ болса, онда $e_{AB}(t_0) = C = \text{const}$, сонымен:

$$E_{AB}(t, t_0) \big|_{t_0 = \text{const}} = e_{AB}(t) - C = f(t) \quad (1.6)$$

Егер $f(t)$ тәуелділігі белгілі болса, онда контурдағы термоЭҚК-ін өлшеу арқылы өлшеу объектісіндегі t температураны табуға болады. $f(t)$ тәуелділігі айқын түрде жеткілікті дәлдікпен әзірге алынуы мүмкін емес, ол тәжірибелік жолымен орнатылады және ТЭТ-ің градуирлеуі деп аталады: термоЭҚК-ің температураға тәуелділік сызбасын құру. Градуирлеу кезінде бос шеттерінің температурасы $t_0 = \text{const}$, әдетте $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

ТЭТ контурында генерацияланатын термоЭҚК-ші тек қана *дәнекерленушінің температурасы мен термоэлектродтың химиялық құрамына* тәуелді және дәнекерленушілердің өлшемдері мен термоэлектродтардың геометриялық өлшемдеріне тәуелді емес.

1.3.1 ТЭТ термоэлектродтарының материалдарына қойылатын талаптар.

Екі кезкелген өткізгіш жұппен термоЭҚК құрай алады, бірақ ТЭТ-ті құру үшін термоэлектродтардың шектеулі түрлері қолданылады.

ТЭТ-ті құруға арналған термоэлектродты материалдарға бірсыпыра талаптар орнатылады:

- а) термоЭҚК-нің бір мағыналы және сызықтыққа жақын температурадан тәуелділігі;
- б) жоғары температураларды өлшеу мақсатымен қызуға төзімділігі және механикалық беріктілігі;
- в) химиялық инерттілігі;
- г) өткізгіш материалының ұзындығы бойынша термоэлектрлік біртектілігі, ол жұмыс дәнекерлеушіні градуирлеусіз қайта қалпына келтіруге және оны батыру тереңдігін өзгертуге мүмкіндік береді;
- д) термоэлектрлік қасиеттері бойынша өзара ауыса алатын материалдарды алу мақсатымен дайындаудың технологиялылығы;
- е) жоғарғы сезімталдық;
- ж) температураның өлшеу дәлдігін қамтып, стандартты градуировкаларды құруға мүмкіндік беретін термоэлектрлік қасиеттерінің тұрақтылығы және жаңадан өндірілуі;
- и) арзандылығы.

Материалдардың ешқайсысы толығымен барлық шарттарды қанағаттандырмайды, сондықтан температураның әртүрлі шектері үшін әртүрлі материалдардан жасалған термоэлектродтар қолданылады.

Қазіргі уақытта ҚР-да қабылданған және 1.4 кестесінде келтірілген ТЭТ-тің бес стандартты градуировкалары қолданылады.

1.4 кесте - ТЭТ-тің стандартты градуировкалары

Стандартты градуировкасы	ТЭТ белгіленуі	Диапазоны, °C	Қателігі, °C
Хромель-копель (ХК)	ТХК	-50÷600	±(2,2÷5,8)
Хромель-алюмель (ХА)	ТХА	-50÷1000	±(4,0÷9,7)
Платинородий (10% родий) - платина (ПП)	ТПП	0÷1300	±(1,2÷3,6)
Платинородий (30% родий) – платинородий (6% родий) ПР30/6)	ТПР	300÷1600	±(3,2÷5,2)
Вольфрамрений (5% рений) - вольфрамрений (20% рений) (ВР5/20)	ТВР	0÷2200	±(5,4÷9,7)

ТЭТ-тегі термоэлектродтың материалының қасиетіне байланысты олар екі топқа бөлінеді: термоэлектродтары асыл және асыл емес металдан жасалған ТЭТ; термоэлектродтары баяу балкитын қосылыстардан немесе олардың графитпен және басқа материалдармен комбинацияларынан жасалған ТЭТ. Бірінші топтағы ТЭТ кеңінен таралған болып табылады, олар технологиялық бақылау және ғылыми-зерттеу жұмыстарының практикасында қолданылады. Екінші топтағы жоғары температурадағы ТЭТ кеңінен таралмаған, өйткені олардың термоЭҚК-ің уақыт бойынша тұрақты болуы қиын және өзара алмастырулығы жеткіліксіз.

1.3.2 ТЭТ-тің бос шеттерінің температурасын түзету.

ТЭТ-ті градуировкалағанда бос шеттерінің температурасы тұрақты және $t_0=0^{\circ}\text{C}$ тең деп ұсталынады. Практикалық шарттарда температураны өлшегенде бос шеттерінің температурасы көп жағдайларда тұрақты, бірақ 0°C -қа тең емес болады. Бос шеттерінің температурасы өзгергенде термоэлектрлік термометрдің термоЭҚК-і өзгереді, нәтижесінде түзетуді енгізу қажеттілігі туады.

Егер бос шеттерінің температурасы 0-ден ерекшеленіп, t_0' -ке тең болса, онда жұмыс шеттерінің температурасы t -ға тең кезінде өлшеу аспаптың көрсеткіші генерацияланатын термоЭҚК-не сәйкес болады (1.5 шартына сәйкес):

$$E_{AB}(t, t_0') = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0'). \quad (1.7)$$

Градуирлеу кестесі $t_0 = 0$ шартына сәйкес келеді:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0). \quad (1.8)$$

(1.8) теңдігінен (1.7) шегереміз, сонда:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) + E_{AB}(t'_0, t_0), \quad (1.9)$$

мұндағы $E_{AB}(t'_0, t_0)$ - ТЭТ бос шектерінің температурасына түзету.

Егер $t'_0 > t_0 = 0$ болса, сол түзетуді өлшенген аспап мәндеріне қосады, егер $t'_0 < t_0 = 0$ болса, түзетуді аспапта көрсетілген мәнінен алып тастайды.

Сонымен, градуирлеу кестесінен алынған $E_{AB}(t, t_0)$ мәні бойынша ізделетін t жұмыс температурасын анықтайды.

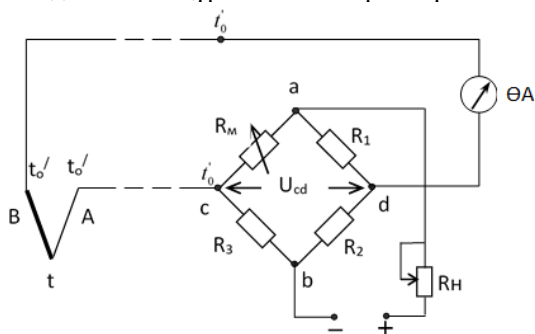
Бұл процесте түзету шамасы өзгермес үшін мыс сымдарымен бос ұштарының қосылған жерлері температураның тұрақтылығын қамтитын арнайы құрылғыға орнатылуы қажет, яғни бос ұштары термостаттауға жатады:

а) $t_0 = 0^\circ \rightarrow$ бос ұштар еріген мұзы бар Дьюар ыдысындағы майы бар түтікке салынады;

б) $t_0 \neq 0^\circ \rightarrow$ бос ұштар жайавтоматтыбиметалдық термореттегішпен жабдықталған арнайы түтіктерге орналастырылады. Әдетте $t_0 = 50^\circ\text{C}$ ұсталынады.

1.3.3 Температураны компенсациялайтын құрылғысы (ТК).

ТК құрылғысы оның бос ұштар температурасының градуирлеу $t_0 = 0^\circ\text{C}$ температурасынан ауытқуынан пайда болатын термоэлектрлік термометрдің термоЭҚК-ің өзгерісін автоматты компенсациялауға негізделген. ТК құрылғысы көпірлік сұлба болып табылады (1.3 сурет).



R_1, R_2, R_3 – манганиндік резисторлар;

R_4 – мыс резисторы;

ΘA – өлшеу аспабы.

$t_0 = 0^\circ\text{C}$ болғанда, көпір тепе-теңдікте болады, яғни диагональ кернеуі $U_{cd} = 0$ мВ.

1.3 сурет – ТК құрылғы

Көпірдің тепе-теңдік шарты:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_m,$$

осыдан:

$$R_m = (R_1 \cdot R_3) / R_2.$$

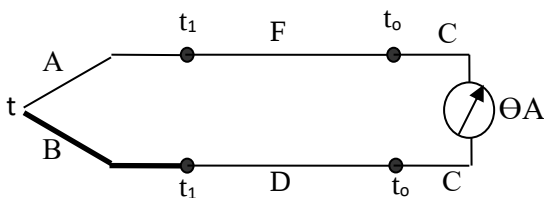
Егер де $t_o > 0 = t'_0$, R_m -ның мәні өседі, сол кезде түзетуге қажет жеткіліксіз термоЭҚК-ін компенсациялайтын U_{cd} пайда болады (1.3 сурет), яғни $U_{cd} = E_{AB}(t'_0, t_o)$. Онда өлшеу аспаптың кірісінде келесі орындалады:

$$E_{AB}(t, t_o) = E_{AB}(t, t'_0) + U_{cd}.$$

ТК құрылғысының қателігі $t_o = (0-50)^\circ C$ аралығында $\pm 3^\circ C$ -қа тең болады.

1.3.4 Ұзартатын термоэлектрод сымдары.

Өлшеніп жатқан объект температурасының ТЭТ-ің бос ұштарына және оларға жалғанатын екінші ретті өлшегіш құрылғыларына әсер етуін жоққа шығару үшін оларды айнымалы температура аймағынан жою керек. ТЭТ термоэлектродтарын өздерін ұзартпай, *термоэлектродты* немесе *компенсациялық* деп аталатын арнайы ұзартқыш сымдары арқылы ұзартуға болады (1.4 сурет).



1.4 сурет – F және D ұзартқыш сымдары бар ТЭТ сұлбасы

Осы жүйедегі термоЭҚК:

$$E = e_{AB}(t) + e_{BD}(t_1) + e_{DC}(t_o) + e_{CF}(t_o) + e_{FA}(t_1). \quad (1.10)$$

Егер барлық дәнекерлеуіштер температурасы t_1 тең болса, онда (1.10) өрнегі келесі түрде жазылады:

$$0 = e_{AB}(t_1) + e_{BD}(t_1) + e_{DC}(t_1) + e_{CF}(t_1) + e_{FA}(t_1). \quad (1.11)$$

(1.10) өрнегінен (1.11) шегереміз:

$$\begin{aligned} E - 0 &= [e_{AB}(t) - e_{AB}(t_1)] + [e_{DF}(t_0) - e_{DF}(t_1)] = \\ &= E_{AB}(t, t_1) + [e_{FD}(t_1) - e_{FD}(t_0)] = \\ &= E_{AB}(t, t_1) + E_{FD}(t_1, t_0). \end{aligned}$$

Егер AB термометрдің және FD термоэлектродты сымдардан құралған жұптың *термоэлектрлік сипаттамалары* $t_0 = 0^\circ\text{C}$ -дан $t_1 = 100^\circ\text{C}$ -ға дейінгі температура аралығында *бірдей* болса, онда:

$$E_{AB}(t_1, t_0) = E_{FD}(t_1, t_0). \quad (1.12)$$

Онда

$$E = E_{AB}(t, t_1) + E_{AB}(t_1, t_0) = E_{AB}(t, t_0).$$

Сонымен, (1.12)-ге сәйкес таңдалынған термоэлектрод сымдарын ТЭТ тізбегіне еңгізу, тізбекте паразиттік термоЭҚК-ін құрмайды, сондықтан өлшеу нәтижесін бұрмаламайды. Сонымен бірге, A және B термоэлектродтардың F және D ұзартатын сымдарымен қосылу жерлерінің температуралары бірдей болуы керек, ал 0 мен 100°C интервалында бұл температураның абсолютті мәні роль атқармайды.

Сериялы шығарылатын ТЭТ-тар мен қолданылатын ұзартатын термоэлектрод сымдардың негізгі сипаттамалары 1.3 кестеде берілген.

1.3 кесте – Негізгі стандартты ұзартатын термоэлектрод сымдардың техникалық сипаттамалары

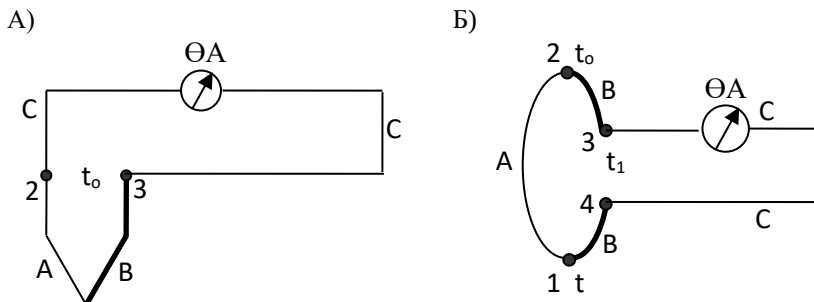
ТЭТ типі	Ұзартатын термоэлектрод өткізгіштері			Қателік, мВ
	Белгілеу	Оң	Теріс	
ТХК	ХК	Хромель	Копель	$\pm 0,20$
ТХА	М	Мыс	Константан	$\pm 0,15$
ТПП	ПП	Мыс	ТП қоспасы (99.4% Cu+0.6%Ni)	$\pm 0,03$

Кей жағдайда 1.3-кестеде көрсетілген басқа ТХА-ларға хромель және алюмель жіптері бар термоэлектрод сымдарын қолданады. ТВР және ТПР

үшін жіптері мыс немесе мыс-никель (98,2%Cu+1.8%Ni) қорытпалардан жасалған ұзарту термоэлектрод сымдарын қолданады.

1.3.5 ТЭТ-тың тізбегіне өлшегіш аспабын қосу.

ТЭТ-тың термоЭҚК-ін өлшеу үшін оның тізбегіне келесі сұлбалардың біреуі бойынша өлшеу аспабын (ӨА) қосу керек (1.5 сурет).



1.5 сурет – ТЭТ-тың тізбегіне өлшеу аспапты қосудың сұлбалары

Екі сұлбаныда өлшегіш аспапты тізбекке C өткізгіш арқылы қосу деп қарастыруға болады.

Бірінші сұлбада (1.5, А сурет) ТЭТ-те бір жұмыс дәнекерлеуіші - 1 және екі бос - 2, 3 дәнекерлеуіштер бар. Мұндай тұйық контурдың термоЭҚК-ші келесіге тең:

$$E_{ABC}(t_0, t_0, t_0) = e_{AB}(t_0) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) \quad (1.13)$$

Егер $t = t_0$ болса (дәнекерлеуіштер температуралары бірдей), онда:

$$E_{ABC}(t_0, t_0, t_0) = 0 = e_{AB}(t_0) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0), \quad (1.14)$$

себебі

$$e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = e_{AB}(t_0),$$

сонымен

$$E_{ABC}(t_0, t_0, t_0) = e_{AB}(t) + e_{AB}(t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0). \quad (1.15)$$

(1.15) теңдеу – 1.5,А) сурет үшін ТЭТ-ің негізгі теңдеуі.

Екінші сұлбада (1.5,Б сурет) жұмыс дәнекерлеуіш – 1, бос дәнекерлеуіш - 2, екі нейтрал – 3,4. 3 және 4 шеттерінің температуралары бірдей t_1 болуы керек. Тұрақты t_1 температурада:

$$E_{ABC}(t, t_1, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0), \quad (1.16)$$

$e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$ және $e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$ болғандықтан, келесіні аламыз:

$$E_{ABC}(t, t_1, t_0) = e_{AB}(t) + e_{AB}(t_0) \quad (1.17)$$

(1.17) теңдеу – 1.5, Б) сурет үшін ТЭТ-ің негізгі теңдеуі.

Сонымен, ӨА-ын ТЭТ тізбегіне қосу сұлбалары әртүрлі болса да, егер де A және B термоэлектродтар бірдей, сонымен бірге жұмыс және бос шеттерінің температуралары бірдей болса, термоэлектр термометрмен жасалатын термоЭҚК -і екі жағдайда бірдей болады.

Жоғарыда көрсетілгендей, егер өткізгіш шеттерінің температуралары бірдей болса, оның тізбегіне жаңа C өткізгішті орнату себебінен термометрдің термоЭҚК-і өзгермейді.

1.3.6 Қалыпты термоэлектрод.

Өртекті термоэлектродтардың әртүрлі жұптарынан құрастырылған ТЭТ қасиеттерін бағалау үшін, *қалыпты* деп аталатын термоэлектродтың біреуімен жұпталған термоэлектродтың термоЭҚК-ін білу жеткілікті. Қалыпты термоэлектрод ретінде стандарт таза платинадан жасалған термоэлектродты ұсынады.

Егер де платина $П$ термоэлектродпен жұпталған әртүрлі $A, B, C, \dots, N$ термоэлектрод материалдарының термоЭҚК-рі белгілі болса, онда Вольт заңдылығы негізінде жұмыс және бос шеттерінің белгілі температуралары үшін осы термоэлектродтардың кезкелген өзара комбинацияларының термоЭҚК-ін анықтауға болады.

Жұмыс дәнекерлеуіштің температурасы t_0 және бос шеттерінің температурасы - t_0^0 болғанда екі A және B өткізгіштердің платина $П$ термоэлектродқа қатысты термоЭҚК-і белгілі болсын: A термоэлектрод қалыптымен жұптасып $E_{АП}(t, t_0)$ құрайды, ал B термоэлектрод қалыптымен жұптасып $E_{ВП}(t, t_0)$ құрайды.

Осы ТЭТ-тер үшін негізгі теңдеулер:

$$E_{АП}(t, t_0) = e_{АП}(t) - e_{АП}(t_0) \quad (1.18)$$

және

$$E_{ВП}(t, t_0) = e_{ВП}(t) - e_{ВП}(t_0). \quad (1.19)$$

(1.18) өрнектен (1.19) өрнекті аламыз:

$$E_{АП}(t, t_0) - E_{ВП}(t, t_0) = [e_{АП}(t) - e_{ВП}(t)] - [e_{АП}(t_0) - e_{ВП}(t_0)] = \\ = [e_{АП}(t) + e_{ПВ}(t)] - [e_{АП}(t_0) + e_{ПВ}(t_0)] = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) = E_{AB}(t, t_0).$$

Осыдан

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{АП}(t, t_0) - E_{ВП}(t, t_0). \quad (1.20)$$

(1.20) өрнектен келесіні айтуға болады: егер үшінші – K қалыптымен жұпталған екі A және B өткізгіштердің термоЭҚК-рі белгілі болса, онда A және B термоэлектродтармен құрылған ТЭТ-ің термоЭҚК-ін есептеу жолмен анықтауға болады.

(1.20) формуладағы $E_{AB}(t, t_0)$ оң мәні A термоэлектродтың B -мен жұптасып, оң термоэлектрод болатынын анықтайды, ал, $E_{AB}(t, t_0)$ теріс мәні A термоэлектродтың теріс болатынын анықтайды.

$t=100^{\circ}C$ және $t=0^{\circ}C$ болғанда платинамен жұптасқан әртүрлі материалдардың термоЭҚК-ін анықтамалық әдебиеттен табуға болады.

Әртүрлі материалдардың термоЭҚК-ін анықтаудың қарастырылған әдісі ТЭТ-ы асыл емес термоэлектрод материалдардан жинақтауда қолданылады.

1.4 ТЭТ сигналдарын өлшеу құралдары

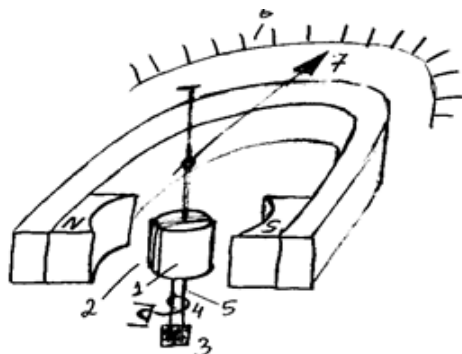
ТЭТ-пен бірге жұмыс істейтін қосалқы аспаптар:

- а) магнит электржүйенің милливольтметрлері;
- б) потенциометрлер;
- в) нормалаушы түрлендіргіштер.

1.4.1 Милливольтметрлер.

Магнит электр милливольтметрлер термоэлектр термометрлермен және басқа түрлендіргіштермен бірге температураларды өлшеуге кең қолданылады.

Әрекет принципі мен теория негіздері. Магнит электр милливольтметрлер өткізгіш бойынша (жылжымалы рамканың орамасы) өтетін тұрақты токпен және тұрақты жылжымайтын манниттің магниттік өрісінің аралығындағы әсерлес күштерін қолдануында негізделген. Өткізгішке әсер ететін күш әрқашан токтың бағытына және магниттік өрістің бағытына нормал бойынша бағытталады.

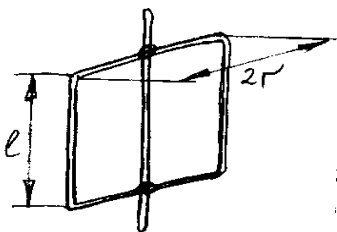


- 1.6 суреттегі белгілер:
 1- жұмсақ болаттан жасалған
 цилиндрлік өзек;
 2- рамка; NS – тұрақты
 магнит;
 3- табан тіреулер;
 4- спираль серіппелер;
 5- керн (ось);
 6- құралдың шкаласы;
 7- нұсқағыш.

1.6 сурет – Милливольтметр сұлбасы

Спираль серіппелер рамканың айналуына қарсылық моментті жасайды. Олар бір шетімен 5 осіне, басқасымен аспаптың қозғалмайтын бөлігіне бекітіледі. Бұл серіппелер рамканың ток өткізгіш элементтері болып табылады.

Керндерде бекітілген рамка тік және көлденең де айналу осімен дайындалады.



Рамка – ұзындығы l және ені $2r$ тікбұрыш, бір- бірімен лакпен бекітілген жіңішке мыс сымның порамынан тұрады. Раманың ішінде орналасқан 1 асында (1.6 сурет), ол әрқашан біркелкі және радиалды магнит өрісінің әсерінде болады.

Онда рамканың бұрылу бұрышынан тәуелсіз, оның жазықтығы магниттік индукцияның B векторына параллель болады, сондықтан рамка бойынша I электр тоғы аққанда, жылжымалы жүйеге магнитті электр моменті $M_{мэ} = 2rIBl$ әсер етеді.

Спиральді серіппе арқылы құрылған қарсы әсер ету моменті мынаған тең болады:

$$M_{қм} = W\varphi ,$$

мұнда φ – рамканың бұрылу бұрышы;

W – меншікті қарсы әсер ету момент.

Кейбір φ бұрылу бұрышында:

$$M_{\kappa\mu} = M_{MЭ},$$

онда

$$W_{\varphi} = 2r \cdot l \cdot B \cdot I.$$

Осыдан

$$\varphi = 2r \cdot l \cdot B \cdot \frac{I}{W} = S_I \cdot I,$$

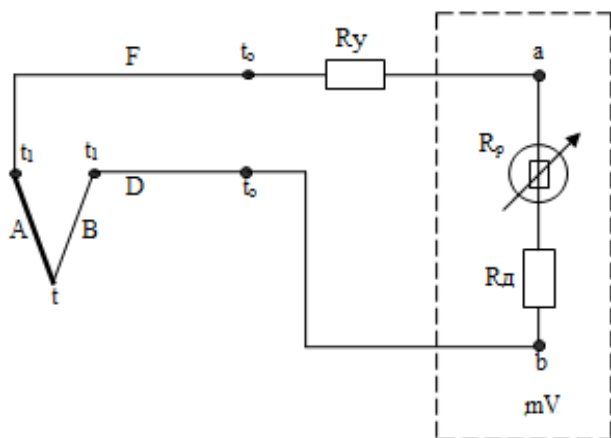
мұнда S_I – өлшеу механизмнің тоққа сезімталдығы (рад/с).

$$\varphi = S_I \cdot I = S_I \cdot \frac{U}{R_m} = S_U \cdot U,$$

мұнда $S_U = S_I / R_m = \varphi / U$ – өлшеу механизмнің кернеуге сезімталдығы;
 R_m – құралдың ішкі кедергісі.

1.4.2 ТермоЭҚК-ін милливольтметрмен өлшеу.

Милливольтметрді ТЭТ-ке қосу және термоЭҚК-ін милливольтметрмен өлшеу сұлбасы 1.7 суретте көрсетілген.



1.7 сурет - Миливольтметрмен термоЭҚК-ін (mv) өлшеу сұлбасы

Сұлбадағы белгілер:

$R_{тең}$ – теңестіруші катушканың кедергісі;

R_{κ} – қосымша катушканың кедергісі;
 $R_m = R_m + R_{\kappa}$ – милливольтметрдің ішкі кедергісі;
 $R_{сыр} = (R_{AB} + R_{FD} + R_C + R_{мен})$ – аспаптың a , b қысқыштарына қатысты тізбектің сыртқы кедергісі.

$$I = \frac{E_{AB}(t, t_0)}{R_i + R_{ai}}; U_{ab} = I \cdot R_i = E_{AB}(t, t_0) - I \cdot R_{ai}.$$

Сонда милливольтметрмен өлшенетін кернеу әрдайым тізбектегі электр қозғаушы күшінен тоқтың сыртқы тізбегінде ағуымен шартталған $I \cdot R_{сыр}$ мәніне кіші болады.

$I \cdot R_{сыр}$ мәнді нөлге келтіру мүмкін емес, өйткені электр қозғаушы күшін тікелей милливольтметрмен өлшеу принципіалды мүмкін емес.

Дегенмен белгілі шарттардың орындалуында, милливольтметрдің көрсетуі тізбекте пайда болатын термоЭҚК-нен тәуелді болатынын кейбір қателікпен қабылдауға болады:

$$\varphi = S_I \cdot I \Rightarrow \varphi = S_I \cdot \frac{E_{AB}(t, t_0)}{R_M + R_{сыр}}. \quad (1.21)$$

Егер $R_m + R_{сыр} = const$ болса, φ және $E_{AB}(t, t_0)$ көрсетулердің арасында бірмағналы тәуелділік болады, және милливольтметрдің шкаласын берілген AB термотүрлендіргіш үшін тиісті термоЭҚК градустарымен градуировкалауға болады.

Бірақ R_m және $R_{сыр}$ қоршаған ортаның температураларынан өзгереді, демек, өлшеу қателігі пайда болады.

Бұл қателікті қалай кішірейтуге болатынын қарастырайық:

$$U_{ab} = I \cdot R_M = \frac{E_{AB}(t, t_0)}{1 + \frac{R_{сыр}}{R_M}}. \quad (1.22)$$

Сонда бірмен салыстырғанда $R_{сыр}/R_M$ аз болған сайын, соғұрлым осы қатынастың өзгеруі, мысалы, қоршаған ортаның температурасының өзгеруінен, U_{ab} және $E_{AB}(t, t_0)$ арасындағы сызықтық тәуелділікке аз әсер етеді.

$R_{сыр}/R_M$ қатынасы $R_m = R_p + R_{\kappa}$ өскен сайын төмендейді. R_p мыс сым болғандықтан, R_m -ді тек қана R_{κ} – манганиндік катушканы жоғарлату арқылы көтеруге болады. Бірақ R_m мәнінің өте жоғары көтерілуі S_U сезімталдығын төмендетеді.

Әдетте $R_m = 100-500$ Ом, ал $R_p/R_m \leq 1/3$, бұл жағдай аспаптың температуралық коэффициентін әлде қайда төмендетеді. $R_{сыр} = 0.6-25$ Ом-ға стандартталған, милливольтметр шкаласында көрсетіледі.

Осыған байланысты, егер ТЭТ градуировкасы шкала көрсеткішінің градуировкасына сәйкес келсе, милливольтметрдің градустық шкаласын қолдану мүмкін болады. Сыртқы желі кедергісін қиыстыру $R_{тең}$ кедергісі көмегімен шкалада көрсетілген $R_{сыр}$ -ға келтіру керек.

Егер милливольтметр шкаласы mV берілген болса, ол $R_{сыр}$ -ны есепке алмай көрсетіледі және милливольтметр көрсетуі $U_{аб}$ -ға тең болады; онда белгілі $R_{сыр}$ мен R_m көмегімен ТЭТ-ің кез-келген градуировкасы үшін $E_{AB}(t, t_0)$ термоЭҚК-і анықталады, және өлшенетін температураныда кестелерден анықтауға болады.

Өнеркәсіп стационарлы милливольтметрлерді градустық шкаласының дәлдік кластары 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 болатындай шығарады. Тасымалданатын милливольтметрлер градустық және милливольтметрлік шкаалары келесі дәлдіктермен: 0,2; 0,5; 1,0 орындалады.

1.4.3 Потенциометрлер.

1.4.3.1 Компенсациялық өлшеу әдісі.

Потенциометрлердің әрекет принципі белгісіз кернеуді қосымша көзінің тоғымен жасалатын кернеу құлауымен теңестіру (компенсациялау) яғни *компенсациялық өлшеу әдісінде* негізделген. (1.8 сурет)

I *компенсациялық контур* құрамында қосымша көз E_B және $R_{аб}$ реохорд (компенсациялық резисторы) болады.

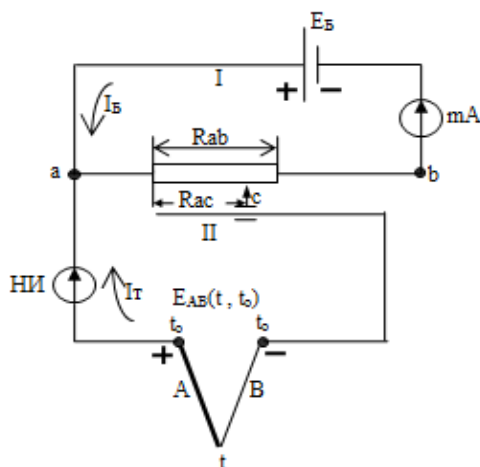
II өлшем контурында келесілер болады: $E_{аб}(t, t_0)$ термоЭҚК-і өлшенетін ТЭТ және нөл-индикатор (НИ) функциясын орындайтын жоғары сезімді гальванометр мен $R_{ас}$ реохордтың бір учаскесі: *a* нүктесінен *c* реохордтың қозғағышының жылжымалы контактісіне дейін.

$E_{AB}(t, t_0)$ термоЭҚК E_B -ға қарсы $R_{ас}$ учаскесіндегі екі көздің токтары бір бағытта жүретіндей қосылған: I_B – жұмыс ток, I_T – *II* контур үшін *c* қозғағыштың кейбір орналасуындағы ток.

II контур үшін Кирхгоф заңы бойынша:

$$E_{AB}(t, t_0) = I_T \cdot R_{сыр} + I_T \cdot R_{НИ} + I_T \cdot R_{ас} + I_B \cdot R_{ас},$$

мұндағы $R_{сыр}$, $R_{НИ}$ – ТЭТ және нөл-индикатордың ішкі кедергілерін қоса сыртқы сымдардың кедергілері.



1.8 сурет – Компенсациялық өлшеу әдісінің сұлбасы

Өлшенетін ЭҚК көзі орналасқан контурда ток $I_T = 0$ және R_{ac} учаскесінде кернеу құлауы *өлшенетін ЭҚК шамасын көрсетеді*.

$$E_{AB}(t, t_0) = I_B \cdot R_{ac}. \quad (1.23)$$

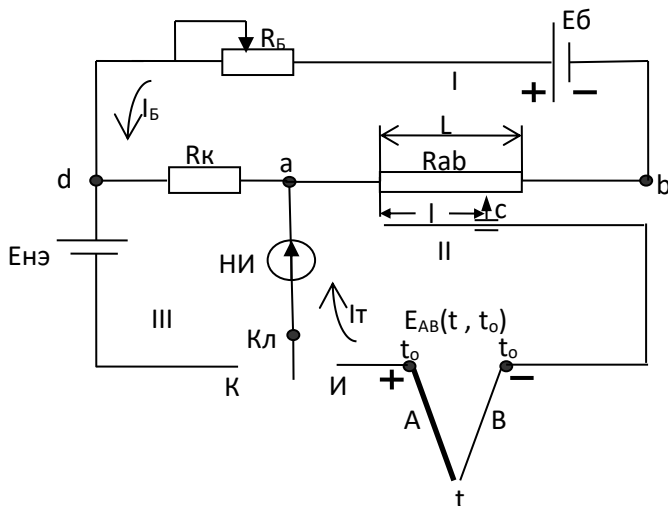
$I_B \cdot R_{ac}$ компенсациялайтын кернеуді екі әдістерімен өзгертуге болады:

- а) $I_B = \text{const}$, $R_{ac} = \text{var}$ ұстап тұру;
- б) $R_{ac} = \text{const}$, $I_B = \text{var}$.

1 әдіс бойынша потенциометрдің сұлбасы кең таралған (жұмыс тоқтың тұрақты күшімен).

1.4.3.2 Токтың тұрақты жұмыс күші бар потенциометрдің сұлбасы.

1.9 суретте көрсетілген потенциометрдің сұлбасы 1.8 суреттегі сұлбадан айырмашылығы – I_B жұмыс тоғының тұрақтылығын бақылау үшін қосымша III контурды қосу.



1.9 сурет – Токтың тұрақты жұмыс күші бар потенциометрдің сұлбасы

Ізделініп отырған темоЭҚК:

$$E_{AB}(t, t_0) = I_B \cdot R_{ac} = \frac{E_{HЭ} \cdot R_{ac}}{R_K}.$$

$$E_{HЭ} = 1.0186 \text{ В}; \quad R_K = 509,3 \text{ Ом}; \quad I_B = 2 \text{ мА}.$$

Реохорданың оралымы біркелкі болса: $\frac{R_{ac}}{R_{ab}} = \frac{l}{L},$

сонда $R_{ac} = \frac{R_{ab}}{L} l$ және $k = I_B \frac{R_{ab}}{L},$

осыдан

$$E_{AB}(t, t_0) = k \cdot l. \quad (1.24)$$

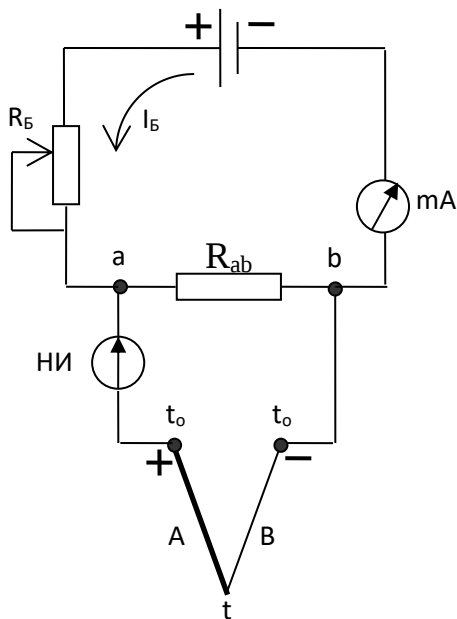
Сонымен, $E_{AB}(t, t_0)$ термоЭҚК-ні өлшеу, кернеудің бірлігімен градуирленген реохордтың l ұзындығы бар учаскесін өлшеуге келеді.

Осындай потенциометрлердің дәлдік кластары жоғарғы, тіпті 0,0005 дейін.

1.4.3.3 Токтың айнымалы жұмыс күші бар потенциометрдің сұлбасы.

1.10-суретте көрсетілген потенциометрдің сұлбасында R_B көмегімен I_B -ны өзгерту жолыментұрақты және белгілі R_{ab} кедергісінде $I_B R_{ab}$ кернеу құлауымен $E_{AB}(t, t_0)$ компенсацияланады.

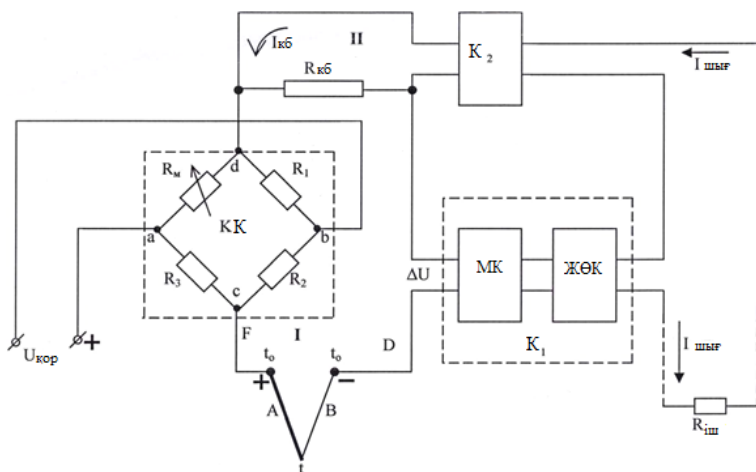
R_B қозғалтқышы $НИ$ нөл мәнін көрсетпегенше қозғалысын тоқтатпайды және де миллиамперметр шкаласы бойынша I_B есептеледі. Осыдан $E_{AB}(t, t_0)$ мәні миллиамперметрдің дәлдігіне тәуелді, сондықтан осы потенциометр дәлдігі бойынша алдыңғы потенциометрден кем болатынын көреміз.



1.10 сурет – Токтың айнымалы жұмыс күші бар потенциометрдің сұлбасы

1.4.4 ТермоЭҚК-ін нормалаушы түрлендіргіштер.

ТермоЭҚК-ін нормалаушы түрлендіргіштер(НТ) ТЭТ сигналын 0-5мА тұрақты токтың унифицирленген сигналына түрлендіру үшін қолданылады (1.11 сурет). НТ-нің жұмыс негізінде жұмыс тоғының айнымалы күші бар сұлбасымен термоЭҚК-ін өлшеудің компенсациялық әдісі болады.



1.11 сурет – ТермоЭКК-ін нормалаушы түрлендіргіштің сұлбасы

Сұлбадағы белгілеулер:

I - өлшеу контуры: КК - корректрлеуші көпір (R_1, R_2, R_3 – манганин резисторлар, R_M – мыс резисторы); K_1 – шығысы тоқ болатын *НИ* қызметін атқаратын күшейткіш, (МК - магнитті күшейткіш; ЖЭК - жартылай өткізгішті күшейткіш);

II - компенсациялау контуры: $R_{кб}$ және K_2 -II контурдың жұмыс тоғы болатын $I_{кб}$ күшейткіштің шығыс тоғы бойынша терең кері байланысы бар күшейткіш. Компенсациялау кернеу $U_{кб}=I_{кб} \cdot R_{кб}$. I контуры жағынан $R_{кб}$ резисторына $U_{кб}=E_{AB}(t, t_0) + U_{cd}$ сигналы келеді.

$U_{cd}=E_{AB}(t_0, t_0)$ - бос ұштарының температурасының түзетілуіне тең.

Онда $E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_0) + U_{cd}$.

Өлшенетін $E_{AB}(t, t_0)$ шамасы $U_{кб}$ – мен салыстырылады. $\Delta U = E_{AB}(t, t_0) - U$ баланс еместік K_1 -ге түседі, онда осы тұрақты тоқ сигналы ΔU магнитті күшейткіште айнымалы ток сигналына (МК) түрленеді, содан соң жартылай өткізгішті күшейткіште (ЖЭК) күшейтіліп, қайтадан тұрақты тоқ сигналына түрленеді.

$R_{сыр}$ сыртқы тізбегіне түсетін және одан кейін бөлгіш арқылы K_2 кері байланыс (КБ) күшейткішіне түсетін $I_{шығу}$ тоғын K_1 тудырады. $R_{сыр}=2,5 \text{ кОм}$.

K_2 кері байланыс күшейткішінің (КБК) кірісі мен шығысындағы токтар өзара пропорционалды:

$$U_{KB} = I_{KB} \cdot R_{KB} = K_{KB} \cdot I_{шығу} \cdot R_{KB}, \quad (1.25)$$

мұнда K_{KB} – КБК-ің беріліс коэффициенті (K_2).

Кері байланысы бар күшейткіштер үшін:

$$\Delta I_{шығу} = K_K \cdot (\Delta U - K_{KB} \cdot \Delta I_{шығу} \cdot R_{KB}), \quad (1.26)$$

мұндағы K_K – K_1 –ің беріліс коэффициенті;

$$\Delta I_{шығу} = \frac{K_K}{1 + K_K \cdot K_{KB} \cdot K_{KB}} \cdot \Delta U = k \cdot \Delta U_X, \quad (1.27)$$

бұл жерде K – НТ-ің беріліс коэффициенті.

K_2 күшейткіштің шығыс тоғы – I_{KB} өзгеріп, ΔU шамасы компенсацияның статикалық қателігі деп аталатын кейбір кішкентай шамаға δU -ға жеткенше, U_{KB} -ны өзгертеді. δU бар болуы I контурда компенсацияланбаған тоқ жүретіне әкеп соқтырады. Сонымен бірге өлшенетін термоЭҚК неғұрлым көп болса соғұрлым бұл токта көп болады.

ТЭТ-пен жұмыс істейтін НТ-тің кіріс сигналының диапазонына байланысты НТ-ің 0,6-1,5 дәлдік кластары болады.

1.5 Кедергі термотүрлендіргіштер (КТТ)

КТТ көмегімен температураны өлшеу металлдар мен жартылай өткізгіштердің *температура өзгеру кезінде өзінің электр кедергісін өзгерту* қасиетінде негізделген: егер $R_t = f(t)$ градуирлеу сипаттамасы (түрлендіру функциясы) белгілі болса, онда R_t -ны өлшеу арқылы ол тиелген ортаның температурасын анықтауға болады..

КТТ-тер $-260 \div +1100$ °С аралығында температураны сенімді өлшейді.

Металл КТТ-тер: стандартталған КТТ-і дайындау үшін *платинаны* (ТСП) және *мысты* (ТСМ) қолданады.

Металл өткізгіштен жасалған КТТ-ге мынадай талаптар қойылады:

- 1) градуирлеу сипаттамасының тұрақтылығы;
- 2) дайындалған КТТ өзара алмасушылығы;
- 3) $R_t = f(t)$ функциясының сызықтылығы (мүмкіндігінше);
- 4) электр кедергінің α жоғары температуралық коэффициенті;
- 5) үлкен меншікті кедергі ρ ;
- 6) төмен құны.

Металл неғұрлым таза болса, соғұрлым ол аталған талаптарды қанағаттандырады.

Платина - КТТ үшін ең жақсы материал: $\alpha = 3,94 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\rho = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; өлшеу диапазоны $\Delta t^0 = -260 - +1100$ °С. Pt-дан жасалған КТТ - сым диаметрі $0,05 \div 0,5$ мм болатын ең дәлді бірінші ретті түрлендіргіш. Олар жұмыс, үлгілі және эталонды термометрлер ретінде қолданылады.

Мыс - таза күйінде оңай алынады, қымбат емес металл, $R_t=f(t)$ тәуелділігі температураның кең диапазонында сызықты, $\alpha=4,26 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; температураны өлшеу диапазоны $\Delta t^0 = -50^\circ\text{C} \div +200^\circ\text{C}$. $t^0 > 200^\circ\text{C}$ температураларда мыс активті түрде қышқылданады және сол үшін қолданылмайды.

Никель және темір: температураны өлшеу диапазоны $\Delta t^0 = -50^\circ\text{C} \div +250^\circ\text{C}$; α жоғары, бірақ градуирлеу сипаттамасы сызықты емес болғандықтан бұл КТТ-тер кең қолданылмайды, ал ең маңыздысы - тұрақсыз және қайтадан өндірілмейді, сондықтан никель және темірден жасалынған КТТ стандартталмаған.

Металды КТТ конструкциясы: платина немесе мыстан жасалған жіңішке сым керамика, слюда, кварцтан жасалған каркасқа оралады. Сымнан жасалған каркас слюдамен жабылады. Каркасты алюминийден жасалған қорғаныс гильзасына орнатады. Гильзаны сыртқы жабық болат чехолға салып, штуцер көмегімен өлшеу объектісіне орналастырады.

Жартылай өткізгіш КТТ: өлшеу диапазоны $\Delta t^0 = -100 \div +300^\circ\text{C}$. Мынадай жартылай өткізгіштер қолданылады: магний оксиді, кобальт, марганец, титан, мыс, германий кристалдары.

Жартылай өткізгіш КТТ артықшылықтары:

- 1) үлкен теріс α коэффициенті;
- 2) температура өзгеруіне өте сезімтал;
- 3) едәуір меншікті кедергі.

Жартылай өткізгіш КТТ кемшіліктері:

- 1) $R_t = f(t)$ едәуір бейсызықтылығы (экспоненталық тәуелділік);
- 2) градуирлеу сипаттамасының қайтадан өндірілмейтіндігі, сондықтан бір типті жартылай өткізгішті КТТ-ің жеке және өзара алмастырылмайтын градуирлеулері болады. Ерекше германий КТТ $\Delta t^0 = 30-90^\circ\text{K}$ болып табылады.

Жартылай өткізгішті КТТ температураны өлшеу үшін сирек қолданады. Олар температуралық сигнализация жүйелерінде кең қолданылады, себебі олардың релейлік эффектілері бар - белгілі температураға жету кезінде кедергінің секірістік өзгерісі. Сондай-ақ, жартылай өткізгішті КТТ әр түрлі газаналитикалық автоматты құрылғыларда сезімтал элемент ретінде қолданылады. Жартылай өткізгіштің сезімтал элементтері кіші өлшемді моншақ, цилиндр, шайба түрінде орындалады.

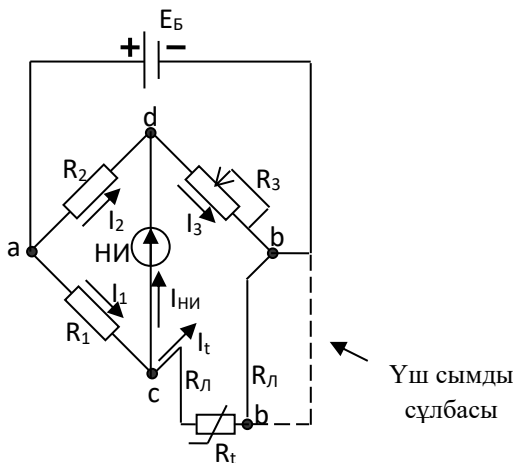
1.6 КТТ-пен бірге жұмыс істейтін өлшеу құрылғылары

КТТ-пен бірге жұмыс істейтін өлшеу құрылғылары:

- а) көпірлер (теңестірілген және теңестірілмеген);
- б) логометрлер;
- в) нормалаушы түрлендіргіштер.

1.6.1 Теңестірілген көпірлер.

Теңестірілген көпірлерде (1.12 сурет) *нөлдік өлшеу әдісі* қолданылады. Зертханалық шарттарда қолданылатын автоматтандырылмаған теңестірілген көпірлер көмегімен 0,5-тен 10^7 Ом аралығындағы кедергіні өлшейді, КТТ градуирлеуін орындайды және температураны өлшейді.



НИ – нөл-индикатор
(гальванометр);
 $R_1 R_2$ – тұрақты
резисторлар;
 R_3 – реттелетін
резисторлар;
 R_t – өлшенетін
кедергі;
 $R_{жс}$ – желілер
(байланыс
сымдардың)
кедергісі;
 ab – қоректену
диагональ;
 cd – өлшеу диагональ.

1.12 сурет – Теңестірілген көпір сұлбасы

Көпір теңестірілген жағдайда $I_{НИ} = 0$ және $R_2 \cdot (R_t + 2R_{жс}) = R_1 \cdot R_3$,
осыдан

$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2} - 2 \cdot R_{жс}, \quad (1.28)$$

мұндағы $R_1/R_2 = \text{const}$;

$R_3 - \text{var}$;

$R_{жс} - \text{const}$ болуы керек, бірақ $R_{жс}$ қоршаған орта температурасының өзгерісіне байланысты өзгереді, сондықтан R_t мәні бұрмаланады, қоршаған орта температурасынан қателік пайда болады.

ККТ-ті көпірге үш жалғағыштық сұлба бойынша қосу арқылы бұл кемшілік жойылады. Онда көпірдің тепе-теңдік теңдеуі келесідей:

$$R_1 \cdot (R_3 + R_{л}) = R_2 \cdot (R_t + R_{л}).$$

Осыдан

$$R_t = \frac{R_1}{R_2} \cdot (R_3 + R_{жс}) - R_{жс}. \quad (1.29)$$

Егер де көпірді симметриялы қылсақ ($R_1 = R_2$), онда $R_t = R_3$, яғни R_t өрнегінде $R_{жс}$ болмайды, демек R_t қоршаған орта температурасына тәуелді емес.

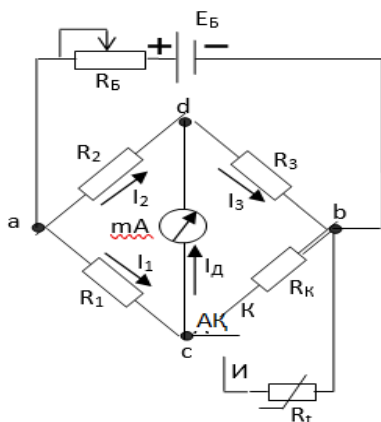
Теңестірілген көпірлердің кемшілігі: Рзреттелетін иықта контакттың өтпелі кедергісінің болуы. Кемшілікті жою үшін R_3 екі иыққа бірдей, ал қозғалмалы контактты өлшенетін диагональ бойынша орнату қажет, сонда көпірлерді теңестіргенде кедергі екі жақта да өзгереді, ал контакттың өтпелі кедергісі өлшеу нәтижесіне ешқандай әсерін тигізбейді, өйткені $I_{HH} = 0$.

Артықшылығы - көрек көзінің кернеуіне тәуелді емес, оның минималды мәні НИ сезімталдығымен анықталады.

1.6.2 Теңестірілмеген көпірлер.

Теңестірілмеген көпірлер (1.13 сурет) оның өлшегіш диагоналі бойынша өтетін токты теңестіруін қажет етпейді. *Осы тоқтың мәні көпірге жалғанған өлшенетін кедергінің өлшемі болып табылады.*

Теңестірілмеген көпір сұлбасын қарастырайық.



R_1, R_2, R_3 – тұрақты резисторлар;
 R_5 – көз диагоналіндегі реостат;
 R_t – өлшенетін кедергі;
 R_6 – бақылау кедергісі;
 I_d – өлшенетін диагональ бойынша ток;
 AQ – айырып қосқыш

1.13 сурет – Теңестірілмеген көпір сұлбасы

Өлшенетін диагональ бойынша тоқ келесі формуламен есептеледі:

$$I_D = U_{ab} \cdot \frac{R_2 \cdot R_t - R_1 \cdot R_3}{M},$$

мұнда

$$M = f(R_1, R_2, R_3, R_t) = \text{const}.$$

Егер $U_{ab} = \text{const}$ болса, онда $I_D \sim R_t$.

1) $U_{ab} = \text{const}$ болатынын бақылау үшін AK айырып қосқышты B (бақылау режиміне) орнатамыз, сонда миллиамперметрдің нұсқағышы белгілі орында тұру қажет (оны түсті сызумен белгілеуге болады). Егер де шарт орындалмаса, онда R_B өзгереді және I_D бақылау белгіде орналасады.

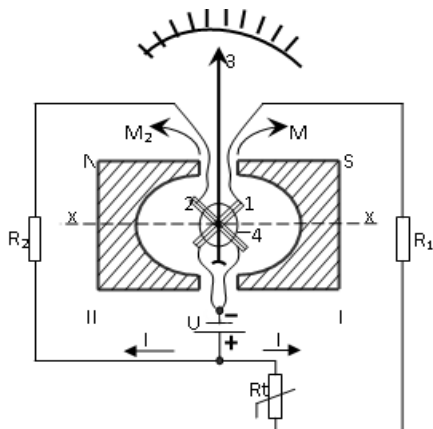
2) $AK \rightarrow \Theta$ (өлшеу режимі), I_D мәні алынады, кейін R_t анықталады және осыдан температура мәні алынады.

Тестірілмеген көпірлер температураны өлшеу мақсатында сирек қолданылады. Олар газанализаторларында кеңінен қолданылады, онда сезімтал элемент ретінде электрлік тоқ арқылы қыздырылатын металды немесе көбіне жартылай өткізгіштік резисторлар қолданылады.

1.6.3 Логометрлер.

Төменде қарастырылатын магнитті электрлік жүйесіндегі логометр деп аталатын (грек сөзінен «логос» - қатынас) құрылғылар технологиялық бақылауда температураны өлшеу және жазу үшін КТТ-пен бірге кеңінен қолданылады. Магнитті электрлік жүйесіндегі КТТ-пен бірге логометр сұлбасы 1.14-сурет көрсетілген.

Логометрдің өлшеу механизмі өзек пше тұрақты магнит полюстері арасындағы бос ауа саңылауында орналасқан екі рамадан тұрады. Конструктивтік түрде $X-X$ осі бойынша саңылау біркелкі емес және полюстік ұштықтардың ұшына қарай кемиді.



1,2 – оқшауланған мыс
сымдарынан жасалған
рамалар (r_1, r_2);
3 – құрылғы нұсқағышы;
1,2,3 ортақ осіне орнатылған;
4 – жұмсақ болаттан жасалған
цилиндрлік өзек;
 R_1, R_2 – қосымша манганин
резисторлары;
 R_t – термометр кедергісі.

1.14 сурет – Магнит-электрлік жүйесіндегі логометр сұлбасы

Магниттік моменттері:

$$M_1 = c \cdot I_1 \cdot B_1,$$

$$M_2 = c \cdot I_2 \cdot B_2,$$

мұнда $c = const$ - раманың геометриясына тәуелді коэффициент;
 B_1, B_2 - магниттік индукциясы.

M_1 моментін теңестіру M_2 моментінің есебінен орындалады.

$$M_1 = M_2 \rightarrow c \cdot I_1 \cdot B_1 = c \cdot I_2 \cdot B_2 \rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{B_1}{B_2} = \psi(\varphi) \rightarrow \varphi = F\left(\frac{I_2}{I_1}\right).$$

Басқа сөзбен айтқанда қозғалыстағы жүйенің φ бұрылу бұрышы (немесе логометр көрсеткіші) екі токтың қатынасы арқылы анықталады:

$$I_2 = \frac{U}{r_2 + R_2}, \quad I_1 = \frac{U}{R_t + r_1 + R_1}.$$

мұндағы

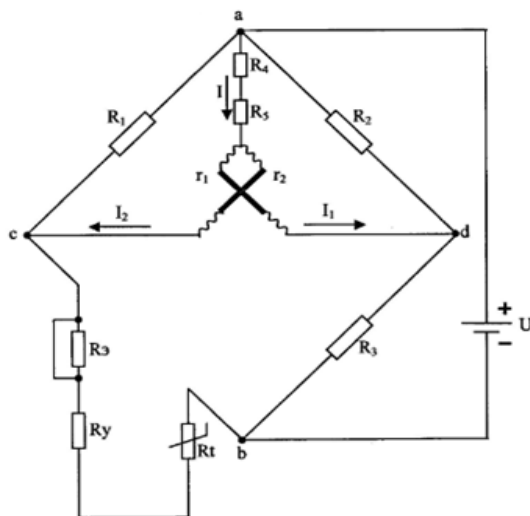
$$r_1, r_2, R_1, R_2 = const \Rightarrow \varphi = F(R_t).$$

Сонымен, логометр R_t -ні яғни температураны өлшейді. Қоршаған орта температурасының әсерін азайту үшін раманың манганин R_1, R_2 резисторларын тізбектей қосу қажет, олардың кедергілері рамалардың r_1, r_2

кедергілерінен әлдеқайда үлкен. Бірақ бұл логометрдің сезгіштігін төмендетеді, себебі r_1 , r_2 арқылы токтар төмендейді.

1.6.4 Симметриялық теңестірілмеген көпір.

Аспаптың сезгіштігін үлкейтіп, температуралық коэффициентін төмендету үшін өлшеуіш диагоналіне логометр рамалары қосылған симметриялық теңестірілмеген көпір сұлбасын қолданады (1.15 сурет).



Сұлбадағы белгілер:

R_t - логометр шкаласымен өлшенетін орта температураға сәйкес келгенде $R_1=R_2$; $R_1=R_t$;
 R_4 – температураны компенсациялауға мыс кедергісі;
 R_5 – өлшеу диапазонын өзгертуге арналған кедергі.
 R_3 , R_m – байланыс желілерінің кедергісін қиыстырып келтіру үшін эквивалентті және теңестіргіш кедергілер

1.15 сурет – Симметриялық теңестірілмеген көпірдің сұлбасы.

Егер R_3 және R_t орналасқан иықтардың кедергілері теңестірілсе, онда c және d нүктелердің потенциалдары бірдей болады (сұлба симметриясының арқасында), ал 1 және 2 рамкалар арқылы ағатын I_1 және I_2 токтары тең және қарама-қарсы болады.

Термометрдің R_t кедергісі жоғарылағанда c нүктесінің потенциалы жоғарылайды, ал d нүктенің потенциалы төмендейді. Сәйкесінше, I_2 тоғы азаяды, ал I_1 тоғы жоғарылайды. Егер термометр кедергісі төмендесе, онда I_2 жоғарылайды, ал I_1 төмендейді. Сонымен, термометрдің кедергісі өзгеруінің нәтижесінде логометрдің екі рамкаларында токтардың бір уақытта өзгеруі жүреді. Бұл токтардың өзгерулері әр түрлі таңбалы болады, соның арқасында симметриялы емес сұлбаға қарағанда мұндай сұлбаның сезгіштігі жоғары болады.

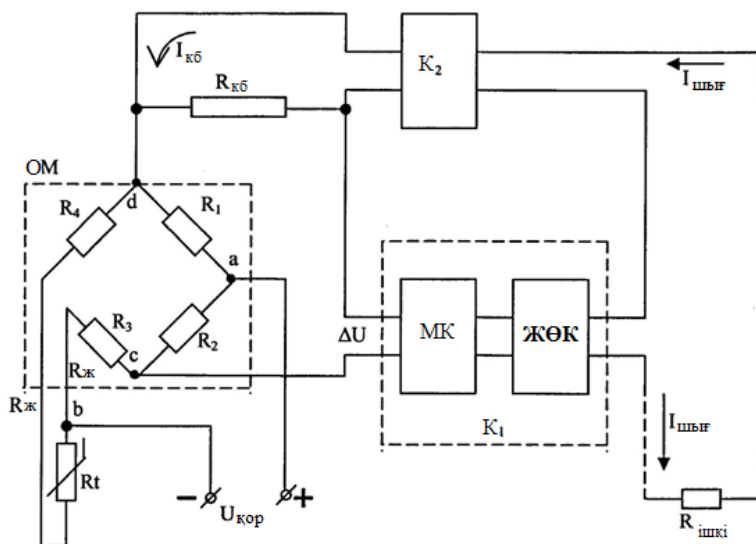
Осы сұлбаға КТТ-ті екі сымдық және үш сымдық қосылу сұлбасы бойынша қосуға болады.

Берілген сұлба бойынша дәлдік класы 1,5 логометрдің қоршаған ортаның температурасының әр 10°C өзгеруінде қосымша қателігі $\pm 0,75\%$ көп емес болады.

Логометрлер көрсететін, өздігінен жазатын, көп нүктелік болып табылады. Өндірістік логометр дәлдік кластары 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 болып шығарылады.

1.6.5 Термокедергілерді нормалау түрлендіргіші.

Компьютерге немесе автоматты реттеу жүйесіне (АРЖ) КТТ-тен ақпаратты енгізу үшін өзінің шығысында тұрақты 0-5 мА тоғы бар сигналды тудыратын нормалау түрлендіргіші (НТ) пайдалынады (1.16 сурет).



1.16 сурет – КТТ нормалау түрлендіргіштің сұлбасы

Бұл НТ-ың жұмыс істеу принципі ТЭТ-пен бірге жұмыс істейтін НТ жұмысына ұқсас. Ерекшелігі - РК (реттеуші көпір) орнына ТӨК (теңестірілмеген өлшеу көпірі) қолданылады.

ТӨК-ің бір жағына үш сымды сұлбасы бойынша $КТТ R_t$ қосылған. Ал қалған кедергілер манганинды болып табылады.

$R_{ж}$ – жалғау сымдардың кедергілерін номиналды мәнге қиыстыру үшін қолданылады.

$I_{шығ} = k \cdot U_{cd}$, мұндағы k – пропорционалдық коэффициенті.
 $U_{cd} = k_M \cdot R_t$, мұндағы k_M – көпірдің түрлендіргіш коэффициенті.
 Онда $I_{шығ} = k \cdot k_M \cdot R_t$. Демек токтың сигналы $HT \sim R_t$.
 КТТ НТ дәлдік кластары 0,6—1,5.

1.7 Жылулық сәулеленуді өлшеу

Барлық температуралары абсолютті нөлден жоғары физикалық денелер жылулық сәулені шығарады. *Жылулық сәулелену* – өзінің *ішкі энергиясы* арқылы жылу шығаратын электромагнитті сәулелену.

Дене температурасының төмендеуінен жылулық сәулелену интенсивтілігі күрт азаяды. Көптеген қатты және сұйық денелерде үздіксіз сәулелену спектрі бар, яғни олар барлық λ ұзындықтағы толқындарын шығарады.

Адамға көрінетін сәулелену (жарық): $\lambda = 0,40-0,75$ мкм.

Инфрақызыл (көрінбейтін жарық): $\lambda = 0,75-400$ мкм. Одан кейін радиотолқын диапазоны.

Ультрафиолет (көрінбейтін): $\lambda < 0,40$ мкм. Одан кейін рентгендік және гамма-сәулесі.

Дененің сәулеленуі бойынша олардың температурасын анықтайтын өлшеу құралдары *сәулелену пирометрлері* деп аталады. Пирометрлер температураны $300-6000^\circ\text{C}$ аралығында өлшеу үшін қолданылады. Контактсыз болғандықтан 3000°C –тан жоғары температураны өлшеуге пирометрлер жалғыз құрал болып табылады. Теория жүзінде пирометрдің өлшеуінің жоғарғы шегі жоқ. Пирометрде көбінесе көрінетін жарық және инфрақызыл диапазоны қолданылады.

Дене температурасын оның сәулеленуі арқылы өлшеу *абсолют қара дене* үшін алынған заңдылықтарда негізделеді. Егер дененің сыртқы бетіне Φ сәуле энергиясының ағыны түссе, онда ол кейбір дәрежеде жұтылады - $\Phi_{ж}$, $\Phi_{кор}$ - көрсетіледі және $\Phi_{өтк}$ - өткізіледі. Осы ағындар арасындағы қатынасы дененің қасиеттері мен дене бетінің жағдайына тәуелді (кедір-бұдырлық дәрежесі, түсі, температурасы). Егер де дене бетіне түсетін барлық жарықты жұтса, онда оның жұту коэффициенті $\alpha = \frac{\Phi_n}{\Phi} = 1$ және мұндай денені

абсолютті қара дене деп атайды.

Нақты тұрғыда денелер абсолютті қара болмайды, тек кейбір түрлері оптикалық қасиеттеріне байланысты оларға жақын болады, мысалы, мұнай күйесінің, платиналы сияның, қара барқыттың көрінетін жарық аймағында 1-ден аз айырылатын α коэффициенттері бар.

Дененің сыртқы беті сәулені жұтуымен бірге, температурасына тәуелді өз сәулелерін шығарады.

Кирхгоф заңына сәйкес дененің сәулелену қасиеті оның жұту коэффициентіне пропорционалды. Абсолютті қара дененің жұту коэффициенті $\alpha_{\text{абс.к.д.}}=1$, демек оның максималды сәулелену қасиеті бар.

Сәулелену пирометрияда дененің жылулық сәулеленуін сипаттайтын шамалар ретінде энергетикалық сәулеленуді және энергетикалық жарықтықты қолданады. Сонымен бірге толық және спектрлік сәулелену мен жарықтықты ажырату керек.

Толық энергетикалық сәулелену деп толық (интегралды) шығарылатын? қуаттылықтың беттік тығыздығын айтады.

Берілген бағыттағы дененің энергетикалық жарықтығы деп осы бағытқа перпендикуляр болатын жазықтыққа дене бетінің проекциясының бірлігінен бірлік денелік бұрышқа сәулелену қуаттылығын атайды. Энергетикалық жарықтық ең алдымен адаммен және де жылу сәулелену негізінде температураны өлшейтін барлық пирометрлермен қабылданатын негізгі шама болып табылады.

Барлық денелер сәуле энергиясын жұту деңгейімен қара денеден ерекшелінеді және жұту коэффициенті 1-ден кем болады. Нақты денелердің сәулелену қасиеті де қара дененің сәулеленуінен ерекше және ε толық сәулелену коэффициенті мен ε_λ спектрлік коэффициентімен сипатталады.

Нақты денелер бірдей температурада әр түрлі сәулелену қасиетіне ие. Оны абсолютты қара дененің сәулелену қасиетіне қатынасы бойынша бағалайды (* белгісі абсолютты қара дененің қасиеттерін білдіреді):

$$\varepsilon_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_\lambda^*} = \frac{B_\lambda}{B_\lambda^*}, \quad \varepsilon = \frac{E}{E^*}, \quad (1.30)$$

мұндағы ε_λ – спектрлік сәулелену коэффициенті (монохром сәулеленудің қаралығының дәрежесі);

ε – толық сәулелену коэффициенті (толық сәулеленудің қаралық дәрежесі);

E_λ, E_λ^* – спектрлік энергетикалық сәулелену;

B_λ, B_λ^* – спектрлік энергетикалық жарықтық (көзбен қабылданатын);

E, E^* – толық энергетикалық жарықтық.

ε_λ – толқын ұзындығының λ және температурасы T функциясы болып табылады.

ε_λ температура мен λ –ға тәуелді болмайтын дене сұр дене деп аталады.

Абсолют қара дененің спектрлік энергетикалық сәулеленуі E_λ^* , оның T температурасы және λ толқын ұзындығы арасындағы тәуелділігі Планк заңы арқылы орнатылады:

$$E_{\lambda}^* = c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1), \quad (1.31)$$

мұндағы c_1, c_2 – тұрақтылар.

Таңдалған λ үшін температура өсуімен, E_{λ} –да немесе B_{λ}^* күрт өседі, өйткені:

$$B_{\lambda}^* = k_{\lambda} \cdot E_{\lambda}^*. \quad (1.32)$$

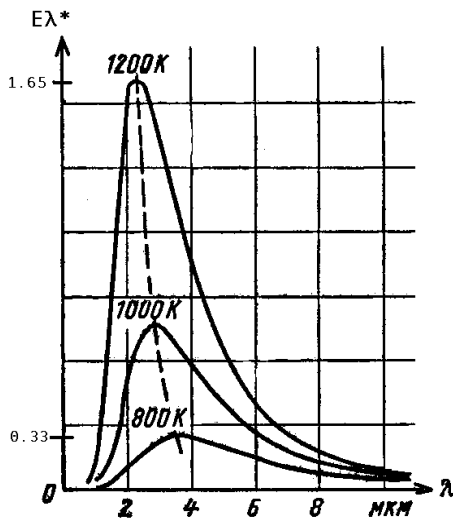
Бұл жағдай дененің температурасын оның жоғары сезімталдығы бар спектралік саулеленуі арқылы өлшеуге мүмкіндік береді.

Температура өсуімен λ_{max} – ның азаятынын графиктен көреміз (1.17 сурет). Қара дене температурасының төмендеуімен оның саулелену энергиясының таралуының максимумы спектрдің ұзын толқындар аймағына жылжиды.

Осының себебінен жарықтық температурасын өлшеу үшін дене спектрінің инфрақызыл аймағын қолдану ұсынылды.

Әр нақты дене үшін өзінің ε_{λ} болады, сонда:

$$B_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} \cdot B_{\lambda}^*. \quad (1.33)$$



1.17 сурет – Планк заңы бойынша тұрғызылған B_{λ}^* қисықтар жиынтығы

Егер де *нақты денелер бірдей температураға ие болса*, онда олардың ε_λ айырмашылығынан өлшенген B_λ мәндері өзгеше болады. Бұл жағдай әртүрлі объекттер үшін аспатың шын температураларында градуирленген бірдей шкаласын болдырмайды. Осыған байланысты пирометрдің шкаласын абсолют кара дененің сәулеленуімен градуирлеу керек.

Нақты денелердің сәулелену қасиеті кара дененің қасиетінен төмен болғандықтан, пирометрдің мәндері нақты дене температурасына сәйкес болмайды, олар тек шартты температураны, осы жағдайда жарықтандыру температурасын береді.

Нақты дененің *жарықтандыру температурасы* деп оның спектрлік жарықтығы $B_{(\lambda, Tя)}^*$ нақты дененің $B_{(\lambda, T)}$ (оның нақты температурасы T болғанда) спектрлік жарықтығына тең болатын кара дененің температурасын айтады.

(1.32), (1.33), (1.31) колдана, келесіні аламыз:

$$\frac{1}{Tя} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln \frac{1}{\varepsilon_\lambda} . \quad (1.34)$$

Жарықтандыру температура нақты температурадан әрқашанда аз, өйткені

$$\varepsilon_\lambda < 1.$$

Спектрдің көрінетін бөлігінде жарықтандыру температураны өлшеу үшін қолданылатын аспаптар *оптикалық және фотоэлектрлік пирометрлер* деп аталады.

1.17 суретте көрсетілгендей, температура өскенде спектр бойынша сәулелену энергиясының таралу қисығының максимумы қысқа толқындарға қарай ығысады. Кара дене сәулелену спектріндегі энергияның таралу қисығының максимумына сәйкес толқын ұзындығы λ_{max} абсолют T температурамен келесі өрнекпен байланысқан:

$$\lambda_{max} T = b, \quad (1.35)$$

мұндағы b - тұрақты, ол 2896 мкм·К-ге тең.

(1.35) қатынасы *Вин ығысу заңы* деп аталады. Барлық сызбалардың максимумдары арқылы өтетін (1.17 сурет) пунктир сызық Вин ығысу заңына сәйкес келеді.

Спектрдің көрінетін бөлігінде λ_{max} ығысуы, сондықтан, дене температурасының өзгеру себебінен пайда болатын энергияны қайта бөлу, оның түсінің өзгеруіне алып келеді. Осы себептен, сәулелену спектрінің берілген бөлігінің ішінде, энергияның таралуы температурамен бірге өзгеруінде негізделген дененің *температурасының өлшеу әдісін түстік әдісі* деп атаған. Бұл әдіспен өлшенген шартты дене температурасы *түс температура* деп аталады.

Спектрдің көрінетін бөлігінде энергетикалық жарықтықтардың екі спектрлік интервалдарындағы қатынасы бойынша түс температураны өлшеу әдісі кеңінен қолданылады.

Түс температура ($T_{\text{мүс}}$) деп келесі шарт орындалғандағы абсолютты қара дененің температурасы аталады: толқындар ұзындықтары λ_1 және λ_2 болғанда, дененің спектрлік энергетикалық жарықтықтар қатынастары

$\frac{B_{(\lambda_1, T_{\text{мүс}})}^*}{B_{(\lambda_2, T_{\text{мүс}})}^*}$ нақты дененің осындай толқын ұзындықтарында және нақты T

температурасында спектрлік жарықтықтар қатынасына $\frac{B_{\lambda_1}}{B_{\lambda_2}}$ тең.

$\frac{B_{\lambda_1}^*}{B_{\lambda_2}^*} = f(T)$ екені белгілі. (1.31), (1.32), (1.33) ескере отырып, аламыз:

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{мүс}}} = \frac{\ln \frac{\varepsilon_{\lambda_1}}{\varepsilon_{\lambda_2}}}{c_2 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}. \quad (1.35)$$

Берілген спектр бөлігінде толқын ұзындығы мен спектрлік коэффициент мәні өзгермейтін ($\varepsilon_{\lambda_1} = \varepsilon_{\lambda_2}$) *сұр денелер* үшін $\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{мүс}}} = 0$, сондықтан $T = T_{\text{мүс}}$.

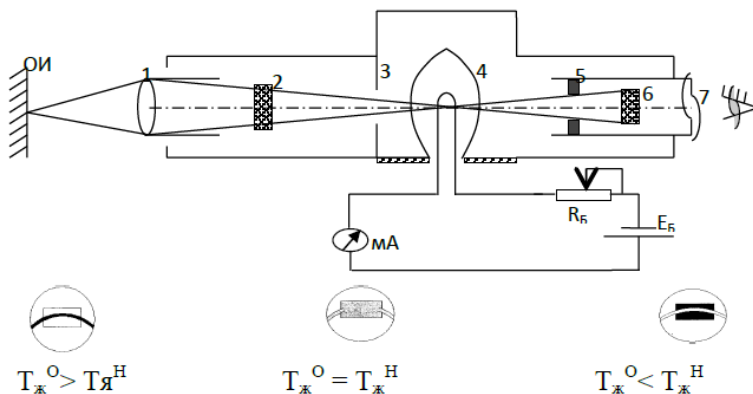
Практикада *сұр* деп келесі нақты денелерді санайды: керамика, металдар оксидтер, отқа төзімді материалдар, гранит, т.б. Олар үшін түс әдісінің ерекшелігі айқын, себебі түс температураға қарағанда жарықтық температура әрқашанда шын температурадан төмен болады.

Спектрлік энергетикалық жарықтық қатынасы бойынша түс температураны өлшеуге негізделген аспаптар *спектрлік қатынаспирометрлері* немесе *түс пирометрлер* деп аталады.

1.8 Жылулық сәулеленуді өлшеу құралдары

1.8.1 Оптикалық пирометр.

Оптикалық пирометрдің жұмыс істеу принципі дененің спектрлік жарықтығын градуирленген сәулелену көзінің спектрлік жарықтығымен салыстыруда негізделген (1.18 сурет). Спектрлік жарықтықтардың сәйкестігін анықтайтын сезімтал элемент ретінде адамның көзі алынған.



1.18 сурет – Жоғалатын жібі бар оптикалық пирометр сұлбасы

Сұлбадағы белгілер: 1 – құрылғы объективі; 2 – жұтатын светофильтр; 3 – кіріс диафрагмасы; 4 – оптикалық лампа; 5 – шығыс диафрагмасы; 6 – қызыл светофильтр; 7 – окуляр; ΘO – өлшеу объектісі.

Температураны өлшеу үшін өлшеу объектінің фонында 7 окулярдың ішінде 4 оптикалық шамның жіптері көрінетіндей 1 аспаптың объективібағытталады.

Өлшеу объекті мен лампаның 4 жібінің спектрлік жарықтықтарын салыстыруы толқын ұзындығы 0,65 мкм тең болғанда жүреді, ол үшін окулярдың алдында 6 қызыл светофильтр орнатылған. 3 және 5 диафрагмалары пирометрдің кіріс және шығыс бұрыштарын шектейді, олардың оптималды мәндері ΘO мен объектив арасындағы қашықтықтың өзгеруінен аспап көрсетуінің тәуелсіздігін қамтиды.

Лампа жібінің жарықтылығы өлшеу объектісінің көрінетін жарықтылығына тең болғанша ($T_{ж}^O = T_{ж}^H$) R_B реостат көмегімен батареядан лампа жібіне жүретін ток күшін өзгертеді. Осы теңдік орындалғаннан кейін өлшеу объектінің бейне фонында жіп «көрінбей» кетеді (1.18 сурет). Осы кезде лампа жібінің $T_{ж}^H$ жарықтық температура мәндерінде градуирленген, миллиамперметр көмегімен объектінің жарықтық температурасы $T_{ж}^O$ анықталады. Содан кейін $T_{ж}^O$ мен ε_λ арқылы объектінің T шын температурасын анықтайды (1.34 формуласы).

Оптикалық лампа жібі вольфрамнан жасалған, сондықтан температура 1400°C жоғары болғанда *возгонканы*¹ болдырмау үшін лампа алдына әлсіреткіш немесе сіндіретін 2 светофильтр қосылады. Осы светофильтр

¹Возгонка - үлкен температураларда заттың (жіптің) қатты күйден газ тәрізді күйге ауысуы, оның себебінен жіп жанып кетуі мүмкін

арқасында өлшеу объектінің көрінетін жарықтығы бірнеше рет азаяды, сондықтан жіп аса қыздырылмайды және пирометр градуировкасының тұрақтылығы сақталады.

Оптикалық пирометрлерде, әдетте, екі шкала болады, біреуін енгізілмеген жұтатын светофильтрде ($800-1200^{\circ}\text{C}$), ал екіншісін енгізілген жұтатын светофильтрде ($1200-2000^{\circ}\text{C}$) қолданады.

Оптикалық пирометрлердің өлшеу интервалы $800-6000^{\circ}\text{C}$ аралығында, 1,5 - 4,0 аралығындағы дәлдік кластарына ие.

1.8.2 Фотоэлектрлік пирометр.

Фотоэлектрлік пирометр (ФП) автоматты болып келеді. Сәулелі энергияны қабылдайтын сезгіш элементтер - фотоэлементтер, фотокөбейткіштер, фотокедергілер және фотодиодтар болып табылады.

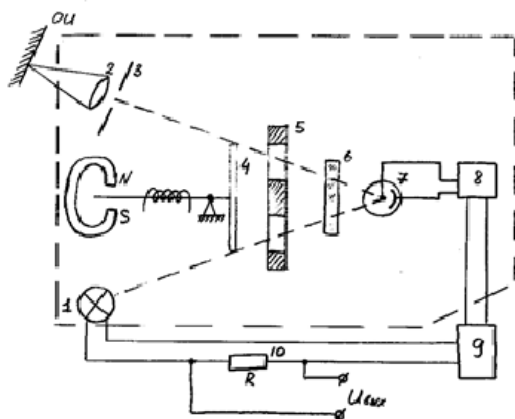
ФП жұмыс істеу принципі бойынша екі типке бөлінеді:

а) аспаппен қабылданатын сәулелі энергия сезгіш элементке түсіп, оның параметрлерін өзгертеді (фототок, кедергі);

б) сәулелі энергияны өлшеу компенсациялы әдіспен жүзеге асады, мұнда сезгіш элемент нуль-индикатор режимінде жұмыс жасайды, өлшеніп жатқан дененің сәулелену интенсивтілігін және сәулеленудің тұрақты көзі болып есептелетін - шағын қыздыру лампалардың интенсивтілігін салыстырып отырады.

Екінші типті ФП күрделірек, бірақ дәлірек, себебі оның көрсеткіштері сезгіш элемент пен электронды сұлбаның сипаттамаларынан тәуелсіз.

Компенсация әдісімен жұмыс жасайтын екінші типті ФП сұлбасы 1.19 суретте келтірілген.



1.19 сурет – Фотоэлектр пирометрдің сұлбасы

Жарық ағындары өлшеу объектісінен және реттелетін жарық көзінен 7 фотоэлементке кері фазада түседі.

5 диафрагма саңылауларының алдында кезекпен оларды жауып отыратын 4 вибрациялы жапқыш орналасу себебінен ӨО және реттелетін жарық көзінен жарық ағындары фазаға қарсы 7 фотоэлементке түседі. Әрбір жарық ағыны фотоэлементке түскен соң, фазаға қарсы бағытталған синусты тоқты тудырады. Фазаға қарсы әсер ететін ӨО және реттелетін жарық көзінен бірдей спектрлік жарықтық кезінде фотоэлементте тұрақты ток генерацияланады. Егер спектрлік жарықтықтар өзара тең болмаса (мысалы, ӨО температурасының өзгерісі кезінде), онда фотоэлемент тізбегінде фототоктың айнымалы құрамдасушысы пайда болады, ол 8 күшейткішімен күшейтіледі және 9 күштік блоктың фазосезгіш каскадына келіп түседі. Нәтижесінде фотоэлементте ӨО мен реттелетін жарық көзінің жарық ағындары теңескенше 1 лампаның қызу жібінің тоғы өзгереді. Спектрлік жарықтылықпен байланысқан лампа тоғы объектінің жарықтық температурасының өлшемі ретінде қолданылады. Сол себептен автоматты потенциометрмен 10 резистордағы кернеудің құлауын өлшеп, потенциометр шкаласын жарық температурасының мәніне сәйкес градуирлейді.

ФП негізгі қателіктері $\pm 1\%$ (800—2000°C) және $\pm 1,5\%$ ($>2000^\circ\text{C}$).

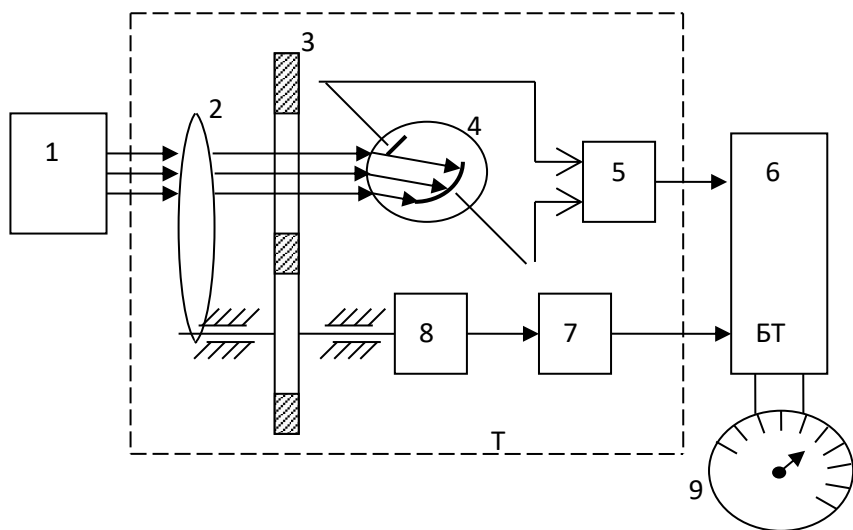
1.8.3 Спектрлік қатынастың пирометрлері (түс пирометрлері).

Бұл пирометрлер екі толқын ұзындығына сәйкес келетін спектрлік энергетикалық жарықтық қатынасын өлшеу жолымен түс температурасын өлшеуге арналған.

Бір каналды және екі каналды түс пирометрлері (ТП) бар. *Екі каналды* ТП әрбір сәулелену толқындарының ұзындықтарына сәйкес келетін өлшеу сигналдары бір уақытта тәуелсіз екі канал арқылы беріледі, бұл берілген сигналдардың қатынасынан объектінің жедел түс температурасы $T_{\text{тус}}$ анықталады. Екі каналды ТП негізі жоғары жылдамдықпен $T_{\text{тус}}$ анықтау керек болған кезде, зертханалық жағдайларда қолданылады.

Бір каналды сұлбасы бар түс пирометрде оптикалық коммутатор арқылы екі әртүрлі монохромды ағындар кезекпен бір фотоэлектрлік қабылдағышқа беріледі. Бір каналды ТП жоғары тұрақтылыққа ие, сондықтан кең қолданылады.

1.20 суретте бір каналды ТП сұлбасы көрсетілген. Сұлбадағы белгілер: T – телескоп; BT – сигналдарды түрлендіргіш блогы; 1 – өлшеу объектісі; 2 – оптикалық жүйе; 3 – обтюратор – екі тесігі бар диск (бірінде қызыл, ал екіншісінде көк светофильтр); 4 – фотоэлемент; 5 – алдын ала күшейткіш; 6 – BT (құрамында: дифференциалды тізбектер, пик-детектор, RC тізбектері бар логарифмдік буын, амплитудалық кернеуді шектеуші, фильтр); 7 – синхронды айырып қосқыш; 8 – синхронды двигатель; 9 – автоматты потенциометр.



1.20 сурет – Бір каналды түс пирометрдің сұлбасы

Обтюратор айналған кезде синхронды двигательмен фотоэлементке кезекпен қызыл және көк спектрлік жарықтық сәулесі түсіп тұрады, соның нәтижесінде фотоэлементте спектрлік жарықтыққа пропорционал болатын фототоктың импульстері пайда болады.

Фототок импульстері алдын ала күшейткіште күшейеді, трапециялы формадағы кернеу импульстері түрінде сигналдарды түрлендіргіш блогына түседі.

Сигналдарды түрлендіргіш блоктың шығысындағы автоматты потенциометр тұрақты ток құраушыларын өлшейді: $I_{cp} = A \cdot \ln \frac{B_{\lambda 1}}{B_{\lambda 2}}$, сонда

түс пирометрі келесі қатынасты өлшейді: $\frac{B_{\lambda 1}}{B_{\lambda 2}} \Rightarrow T_{myc} \Rightarrow T$.

Түс пирометрінің 1400–2800°C диапазоны бар, 1,0 дәлдік класына ие.

1.9 Бірінші тарауға бақылау сұрақтары

1. Шартты температуралық шкалалар туралы айтыңыз.
2. Репер нүктелер деген не? Олардың қасиеттерін сипаттаңыз.
3. Термодинамикалық шкала деген не? Олардың қасиеттерін сипаттаңыз.

4. Манометрлік термометр. Классификация және қолдану салалары.
5. Термоэлектр түрлендіргішімен температураны өлшеу.
6. ТЭТ-ің стандартты градуировкасы.
7. ТЭТ-ің бос ұштарының температурасына түзету қалай орындалады?
8. Температураны компенсациялау құрылғының әрекет принципі.
9. Ұзарту термоэлектр сымдарының міндеті мен сипаттамалары.
10. Милливольтметр міндеті және әрекет принципі.
11. Потенциометрлердің міндеті және әрекет принципі.
12. Теңестірілген және теңестірілмеген көпірлердің міндеттері мен әрекет принциптері.
13. Логометрлер. Міндеті және әрекет принципі.
14. Жылу сәулеленуді өлшеу туралы айтып беріңіз.

2 тарау. Қысымды өлшеу

2.1 Жалпы мәліметтер

Ғылыми зерттеулерде және өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қысымды кеңінен пайдалануы, әрекет ету принципі, құрылымы, мақсаты және дәлдігі бойынша әртүрлі болатын қысымды өлшеу құралдарын қолдану қажеттілігін туындатады.

Қысым – бетке перпендикуляр әсер етуші күштің осы беттің ауданына қатынасы. Қысым – заттың термодинамикалық күйін анықтайтын негізгі шамаларының бірі. Қысымды өлшеу есебі кейбір технологиялық параметрлерін, мысалы, *газдың немесе будың шығынын, сұйықтықтың деңгейін және т.б.* өлшеу кезінде пайда болады.

Қысым түрлері: *атмосфералық, абсолютті, артық, вакуумдық.*

Атмосфералық қысымның әсерін есепке алмау болмайтын жағдайда абсолютті қысымды ескеру керек, мәселен, жұмыс денелерінің күйлері туралы сұрақтармен танысу кезінде, әртүрлі сұйықтықтардың қайнау температураларын анықтау кезінде және т.б.

Технологиялық процестерді бақылау және ғылыми зерттеулер жүргізу кезінде көбінесе артық және вакуумдық қысымдармен және қысымдар айырымдарымен жұмыс істейді.

Атмосфералық қысым – жер атмосфераның ауа бағанасының массасымен жасалатын қысым. *Абсолютті қысым* – абсолют нөлден есептеп табылған қысым. Абсолютті қысымның есептеу басы деп ішінен толығымен ауа сорып алынған дененің ішіндегі қысымды қабылдайды. Абсолютті қысым P деп төменгі жағында сұйықтық, газ және бу орналасқан толық қысымды айтады. Ол артық қысым P_a мен атмосфералық қысымның $P_{атм}$ қосындысына тең:

$$P = P_a + P_{атм}. \quad (2.1)$$

Асқын қысым – атмосфералық қысымнан жоғары болатын абсолютті қысым мен атмосфералық қысымның айырмасы:

$$P_a = P - P_{атм}. \quad (2.2)$$

Вакуум – атмосфералық қысым мен одан аз болатын абсолютті қысымның айырмасы:

$$P_v = P_{атм} - P. \quad (2.3)$$

СИ жүйесінде *қысымның өлшем бірлігі* ретінде ауданы 1 м^2 бетте біркелкі тараған және оған нормалды бағытталған 1 Ньютон (Н) күшімен жасалатын қысым - 1 Паскаль (Па) қабылданған.

Сонымен қатар қысымның өлшем бірлігі ретінде МКГСС бірлігі - шаршы метрге килограмм-күш ($\text{кгс}\cdot\text{см}^{-2}$) және қысымның жүйеден тыс өлшем бірліктері: техникалық атмосфера (ат) деп аталатын шаршы сантиметрге килограмм-күш ($\text{кгс}\cdot\text{см}^{-2}$), су бағанасының миллиметрі (мм су.бағ.), сынап бағанасының миллиметрі (мм сын.бағ.) және бар (пайдалануға ұсынымдар жоқ) қолданылады. 9.1 кестеде бірліктердің арасындағы ара - қатынастар келтірілген.

2.1 кесте – Қысымның бірліктерінің арасындағы арақатынастық

Бірлік	$\text{кгс}\cdot\text{м}^{-2}$	$\text{кгс}\cdot\text{см}^{-2}$	су бағ.мм	сынап бағ.мм	бар
1 Па	0,10197	$10,197\cdot 10^{-6}$	0,101197	$7,50\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-5}$

Қысымдарды өлшеу құралдары (ӨҚ) келесідей классификацияланады:

а) *өлшенетін қысымның түрі бойынша*: артық қысым манометрлері; абсолюттік қысым манометрлері; барометрлер; вакуумметрлер; мановакуумметрлер (артық қысымды және вакуумды өлшеу үшін); напорометрлер? (40 кПа дейінгі кіші артық қысымды өлшеу); тягомерлер? (40 кПа-ға дейінгі газдың сиретілуін өлшеу үшін), тягонапорометрлер? (кішігірім артық қысымдар мен қысым диапазоны $-20+20$ кПа болатын газ сиретілуін өлшеу үшін); дифманометрлер (қысымның айырымын өлшеу үшін);
 б) *әрекет принципі бойынша*: сұйықтық; поршеньді; деформациялық; иондаған; жылулық; электрлік.

Қысымның ӨҚ осылай бөлінуі толық болып табылмайды.

Техникалық және технологиялық өлшеулерде кең қолданылатын қысымды ӨҚ қарастырамыз (2.1 сурет).



2.1 сурет – Қысымның өлшеу диапазоны (Па)

2.2 Гидростатикалық теңестірілген қысымды өлшеу сұйықтық құралдары

Осындай өлшеу құралдарында (ӨҚ) өлшеніп жатқан қысымның өлшемі жұмыс сұйықтық бағанасының биіктігі болып табылады.

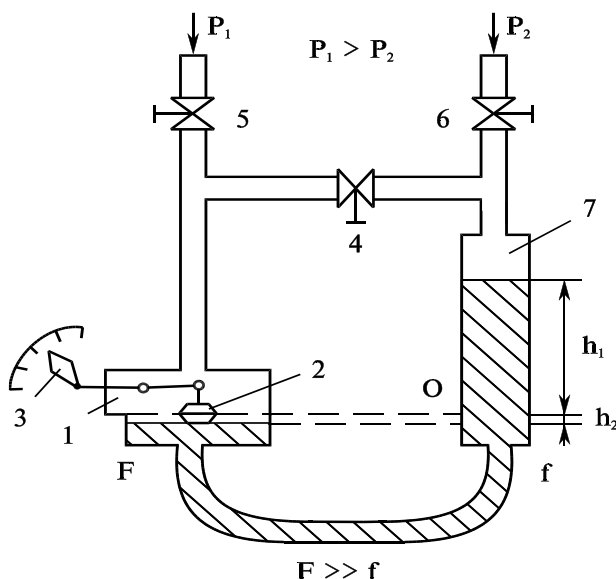
Жұмыс сұйықтығы – дистилляцияланған су, сынап, этил спирті немесе трансформаторлық май. Жұмыс сұйықтығын таңдау өлшеніп жатқан қысым диапазонымен, пайдалану шарттарымен және талап етілетін өлшеу дәлдігімен анықталады.

Бүгінгі таңда сұйықтық ӨҚ номенклатурасына шектеу қойылған. Көпшілігі жетілдірілген деформациялық ӨҚ-ға алмастырылған. Технологиялық ағындарда әліде пайдаланылып жатқан сұйықтық ӨҚ қатарына қалтқылы және қоңыраулы диффометрлері жатады.

2.2.1 Қалтқылы диффометрлер.

Жұмыс істеу принципі: диффометрді толтыратын жұмыс сұйықтығы бағанасынан пайда болатын гидростатикалық қысым арқылы өлшеніп жатқан қысымның ауытқуын теңестіріп отырады.

Қалтқылы диффометр өзара байланысқан 2 ыдыстан тұрады. 1 үлкен ыдыстың F қима ауданы 7 кішкентай (тар) ыдыстың f қима ауданынан үлкен немесе тең (2.2 сурет).



2.2 сурет – Қалтқылы диффометрдің сұлбасы

Ыдыс 0 нөлдік белгіге дейінгі жұмыс сұйықтығымен (сынап немесе трансформатор маймен) толтырылған. Ыдыстың 1 ішкі қуысында есептеу құрылғының 3 тілімен байланысқан 2 қалтқы болады. Қысымды өлшеу объектіге аспапты қосқанда, үлкен қысым 1-ші ыдысқа, ал кішірегі - 7-ші ыдысқа келеді. Қысымның берілуі 5 және 6 вентильдер арқылы жүзеге асырылады. Бір жақты қысымды беру кезінде жұмыс сұйықтығының шығарылу мүмкіндігін болдырмау үшін вентиль 4 қызмет етеді. Осы мақсатпен аспапты объектіге қосу алдында 4-ші вентильді ашады, ал екі ыдыстардағы қысымдардың тұрақтануынан кейін, жабады. Объектіден аспапты ажырату алдында 4-ші вентильді ашып, ал содан соң 5 және 6 вентильдерді жабу керек.

Өлшеу процесінде, кең ыдыстағы сұйықтық төмен жылжиды, ал онымен бірге 2 қалтқы жылжып, механикалық беріліс арқылы есептеу құрылғысының 3 көрсеткішін жылжытады. Өлшенетін (P_1-P_2) қысымның айырмасы биіктігі h_1+h_2 сұйықтық бағанының қысымымен теңеспегенше қалтқының жылжуы жалғасады:

$$P_1 - P_2 = g(\rho_\alpha - \rho_\beta)(h_1 + h_2), \quad (2.4)$$

мұндағы, g – жергілікті еркін түсу үдеуі;

ρ_α – жұмыс сұйықтықтың тығыздығы;

ρ_β – өлшенетін ортаның тығыздығы.

$V_1=V_2$ деп қабылдап отырып (кең ыдыстан ығыстырылған сұйықтық көлемі және тар ыдысқа келген көлемі), келесіні аламыз:

$$F \cdot h_2 = f \cdot h_2,$$

ал одан:

$$h_2 = \frac{1}{(1 + F / f)(\rho_\alpha - \rho_\beta)} (P_1 - P_2). \quad (2.5)$$

Бұл қалтқы дифманометрдің статикалық сипаттамасынан келесіні айтуға болады: әр түрлі диапазондарда қысымның айырмашылығын өлшегенде қалтқының h_2 бірдей жылжуларын алу үшін F/f қатынасын өзгерту керек. Практикада, бір диаметрлі тар ыдысты басқа диаметрлі ыдыспен алмастыру қажет.

Қалтқылы дифманометрлер жоғарғы шектері 6,3 кПа-дан 0,1 МПа-ға дейін мәндермен шектелген номиналды қысым құламаларына негізделген. Дәлдік кластары - 1, 0 және 1, 5.

Артықшылығы: қалтқылы дифманометр өлшеудің жоғары дәлдігін және арнаулы энергия көздерін қолданусыз көрсетулерді тіркеудің мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

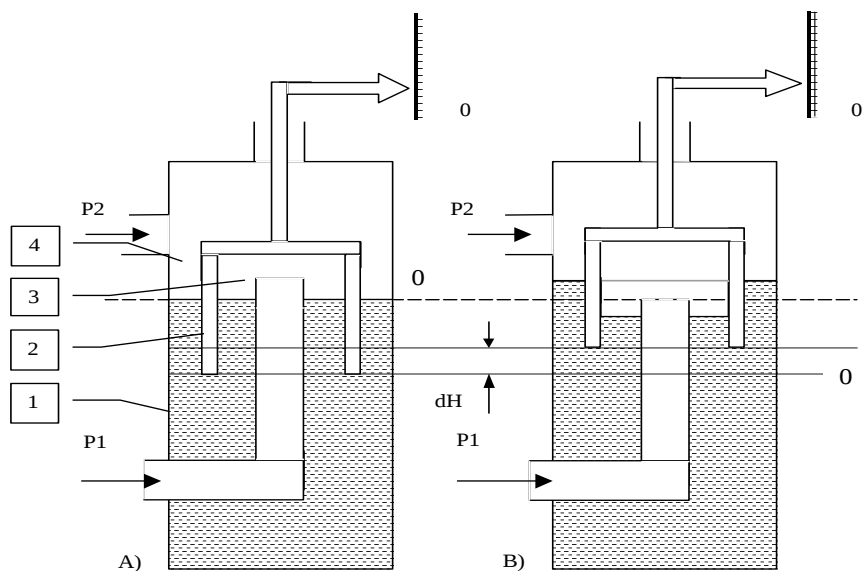
Кемшіліктері: жұмыс сұйықтығы ретінде сынап, улы сұйықтықтың қолданылуы, ол қысым күрт өзгергенде өлшеу объектісі мен қоршаған ортаны ластауы мүмкін

2.2.2 Қоңыраулы диффометрлер.

Қоңыраулы диффометрлер жұмыс сұйықтығына батырылған және қысым айырымы себебінен орын ауыстыратын қоңырау болып табылады (2.3 сурет). Қоңыраудың көтерілу кезінде ауырлауы және батырылу кезінде салмағының азаю себебінен қарама-қарсы әсер етуші күш пайда болады. Ол Архимед заңына сәйкес қоңырауға әсер ететін гидростатикалық көтеру күшінің өзгеру кезінде жүзеге асады.

Жұмыс істеу принципі: егер 2 және 3 өлшеу камераларындағы қысымдар тең болса, онда 1 қоңырау 2.3 А суретте көрсетілгендей жағдайда болады.

Егер $d(P_1 - P_2)$ қысым ауытқуы бар болса, онда қоңырау қалқып шығады. Көтеру күшінің қысымның ауытқуынан өзгеруі мен гидростатикалық көтеру күшінің өзгеруі теңескенше қоңырау қалқып шығады.



2.3 сурет – Қоңыраулы диффометрдің сұлбасы

Тепе-теңдік жағдайда:

$$d(P_1 - P_2)F = (dH + dY)fg(p_{жс} - p_c).$$

$$dh = dY + dX.$$

$$d(P_1 - P_2) = dh(p_{жс} - p_c)g.$$

$$FdY = df dH + (\Phi - F)dY.$$

Мұндағы F – қоңыраудың сыртқы көлденең қимасының ауданы;
 dH – қоңыраудың орын ауыстыруы;
 dY – қоңыраудың астындағы сұйықтықтың орын ауыстыруы;
 df – қоңыраудың қабырғаларының көлденең қимасының ауданы;
 dh – қоңыраудың ішіндегі және сыртындағы сұйықтықтар деңгейлерінің айырмашылығы;
 dX – ыдыс ішіндегі сұйықтықтың орын ауыстыруы;
 Φ – кең ыдыстың көлденең қимасының ауданы;
 f – қоңыраудың көлденең қимасының ішкі ауданы;
 $\rho_{жс}, \rho_c$ – жұмыс сұйықтығы мен өлшеніп жатқан ортаның тығыздығы.
 Осыдан:

$$dH = \frac{1}{fg(\rho_{жс} - \rho_{\bar{N}})} d(P_1 - P_2).$$

0-ден $(P_1 - P_2)$ -ге дейінгі аралығында интегралдағаннан кейін:

$$H = \frac{f}{fg(\rho_{жс} - \rho_{\bar{N}})} (\bar{D}_1 - \bar{D}_2). \quad (2.6)$$

(2.6) формула – гидростатикалық теңестіруі бар қоңыраулы диффонометрдің статикалық сипаттамасы.

Кеңейтілген диапазонда қысым ауытқуын өлшеуді қамтамасыз ету үшін f/df мәнін мүмкіндік болғанша азайту керек.

Қоңыраулы диффонометр өте жоғары сезімталдыққа ие. Сол себептен, кіші қысым, қысым ауытқуын және вакуумды өлшеу кезінде қолданылуы мүмкін.

Кейбір қоңыраулы диффонометр модификациялары, қоңыраудың орын ауыстыруы байланыс каналы арқылы берілетін унифицирленген сигналға түрленетін T түрлендіргіштерімен жабдықталады.

2.3 Деформациялық қысымды өлшеу құралдары

Деформациялық СҚ әрекет ету принципі сезімтал элементтің (СЭ) немесе ол дамытатын күштің серпімді деформациясын пайдалануда негізделген.

2.3.1 Сезімтал элементтер.

Серпімді СЭ деформациясы немесе ондағы пайда болатын күші осы типті ӨҚ өлшеніп жатқан қысымның өлшемі болып табылады.

СЭ-ді негізгі үш түріне бөледі: құбырлы серіппе, сильфондар, мембраналар (2.4 сурет)

Құбырлы серіппелер.

Бір ұшы орын ауыстыру қасиетіне ие, ал екінші ұшы қатаң бекітілген серпімді қисық металл қуыс түтікше құбырлы серіппелер немесе манометрлік серіппе (Бурдон серіппесі) деп аталады. Құбырлы серіппелер әдетте серіппенің ішкі кеңістігіне берілген өлшеніп жатқан қысымның оның бос ұштарына пропорционалды орын ауыстыруына түрлендіру үшін қолданылады.

Бірорамды түтікшелі серіппе.

Сопақша көлденең қималы бірорамды түтікшелі серіппе кеңірек таралған (2.4а сурет).

$$N=k \cdot P. \quad (2.7)$$

мұндағы N – күш;

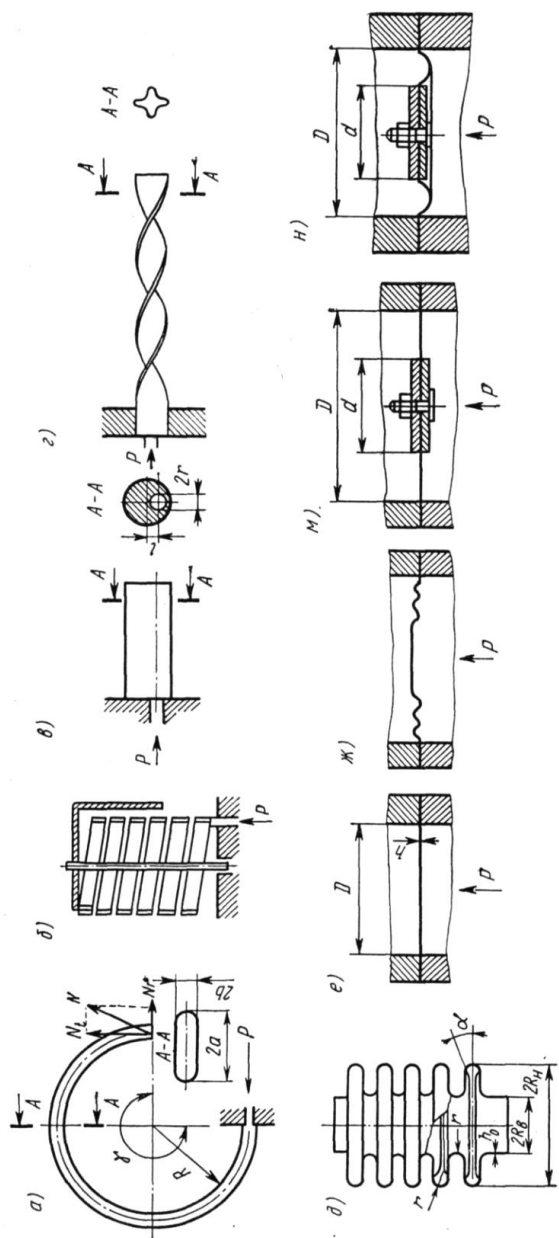
P - қысым;

$k = f(\gamma)$, γ –түтікшенің орталық бұрышы.

γ практикалық өсуі, түтікшелі серіппенің орамының өсуі нәтижесінде болады (2.5б сурет).

$$\gamma = 360^\circ \cdot n,$$

мұндағы n – орамдар саны.



2.4 сурет – Деформациялық қысымдарды өлшеу құралдарының сезімтал элементтері

Қисық сызықты және тік сызықты түтікшелі серіппелер.

Жоғары $P \leq 1000$ кПа қысымдарды өлшеу үшін тік сызықты (2.4в сурет) және қисық сызықты (2.4г сурет) түтікшелі серіппелер қолданылады.

Бос ұшының орын ауыстыруы көлденең қимасының өзгеруіне емес, иілу моментіне байланысты.

Тік сызықты түтікшелі серіппенің негізгі кемшілігі – беру механизмді қолдануды қажет ететін айналыстың шағын бұрышы.

Бұл кемшілік сопақша және жұлдыз қималары бар қисық сызықты түтікшелі серіппелерде жоқ. Бұралған түтікшелі серіппенің айналыс бұрышы $40-60^\circ\text{C}$ -қа тең. Сондықтан нұсқағышы беріліс механизмнің көмегінсіз серіппенің бос ұшында бекітіледі.

$P \leq 5$ МПа үшін түтікшелі серіппелерді жез, қоладан жасайды; $P \geq 5$ МПа үшін - қоспаланған қорытпалардан, әр түрлі құрамды болаттан; $P \geq 1000$ кПа үшін - 50ХФА типті қоспаланған қорытпалардан.

Сильфондар.

Сильфон – қысымның немесе күштің әсерінен едәуір қозғалыстар алуға қабілетті көлденең гофрлары бар жұқа қабырғалы цилиндрлік қабық (2.4д сурет).

Сильфонға әсер ететін күш пен оның әсерінен пайда болатын деформацияның қатынасы тұрақты болады және *сильфон қаттылығы* деп аталады. Сильфон қаттылығын арттыру үшін әдетте ішіне серіппе салады.

Сильфондарды көбінесе қоладан, тот баспайтын болаттан, алюминий қорытпаларынан дайындайды.

Сильфон диаметрлері - 8-10 мм, 80-100 мм.

Осьтік N күш әсерінен сильфон түбінің осьтік орын ауыстыруы δ :

$$\delta = k \cdot N, \quad (2.8)$$

мұндағы $k = f(R, r, n, \alpha)$;

R – сильфон радиусы;

r – гофрдың дөңгелектеу радиусы.

n – гофр саны;

α – тығыздау бұрышы.

$$N = \Delta P \cdot F_{\text{эф}},$$

мұндағы ΔP – сильфонға әсер ететін қысымдар айырмасы;

$F_{\text{эф}}$ – сильфонның эффективті ауданы.

Мембраналар.

Мембраналар серпімді және эластикалық болады.

Серпімді мембраналар – қысымның әсерінен иілу қабілеті бар икемді жалпақ дөңгелек немесе гофрленген пластина,

Жалпақ мембраналардың статикалық сипаттамасы P қысымның артуымен бейсызықты. Сондықтан жұмыс аймағы ретінде ықтимал жүрістің шағын бөлігі пайдаланылады.

2.4 суретте *жалпақ (е) және гофрленген (ж) мембраналардың* сұлбалық суреттері берілген.

Жалпақ мембранаға қарағанда *гофрленген мембрана* сипаттамаларының айтарлықтай кіші бейсызықтығы себебінен үлкен иілімдерде қолданылуы мүмкін.

Мембраналар болат, қола, жездің әр-түрлі маркаларынан жасалады.

Гофр тереңдігі статикалық сипаттамасының сызықтығына айтарлықтай әсер етеді: тереңдік неғұрлым көп болса, сипаттама соғұрлым сызықты.

Атмосфералық қысымды өлшеуге ауасы жоқ гофрленген мембраналы қораптар қолданылады.

Эластикалық мембраналар – шағын қысым мен қысым айырымын өлшеуге арналған, резеңкелі матадан, тефлоннан және басқа да материалдардан жасалған жалпақ (2.4м сурет) немесе гофрленген (2.4н сурет) дискілер болып табылады.

Көп жағдайда мембрананың максималды ықтимал жүрісінің бөлігін ғана қолданады (10 % дейін). Мембарананың үлкен жүрісінде N күші мен мембрана ортасының жүрісі арасындағы байланыс бейсызықты болады.

Бейсызықтықты азайту үшін қатты орталығы бар мембраналарды қолданады: мембрананың екі жағына бекітілген екі металл дискілер орнатылады.

Сезгіш элементтердің (СЭ) барлығына көп ретті қолдану ұсынылмайды, себебі қалдық деформацияның жиналуына байланысты, өлшеудің қателіктері пайда болады. Өлшеу шегі статикалық сипаттаманың пропорционалдық шегіне сәйкес келетін қысымның жартысымен шектеледі (жұмыс істейтін СЭ үшін).

Қысымды өлшеуге арналған деформациялық аспаптар.

Өлшеу аспаптарының (ӨА) жоғары дәлдігі, құрылымының қарапайымдылығы, сенімділігі және төмен құны, олардың өндірісте және ғылымдық зерттеулерде қолдануына себеп болды.

Бірорамды түтікшелі серіппесі бар ӨА.

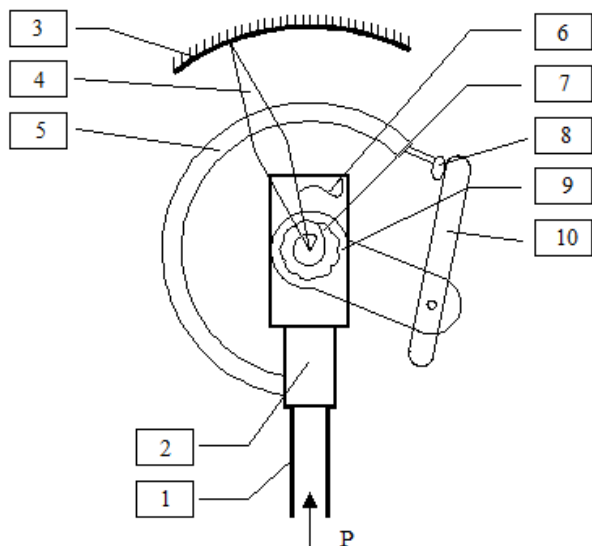
ӨА артық қысымды және агрессиялы емес сұйық және газ тәрізді ортаның сиретілуін өлшеуге арналған.

Аспаптар тек қана көрсетуші аспапт болып орындалады (2.5 сурет).

Деформациялық СЭ бос шетінің орын ауыстырғанын манометрдің көрсеткішіне беру үшін *секторлы және рычагты беріліс механизмдері* қолданылады. Осы беріліс механизм көмегімен түтікшелі серіппенің бос шеті бірнеше градусқа немесе миллиметрге орын ауыстырғаны көрсеткіштің 270-300 градусқа бұрыштық орын ауыстыруына түрленеді.

Рычагты беріліс механизмдері жоғары дәлдік қажет болмаған кезде және аспап вибрацияға ұшыраған кезде қолданылады.

Секторлы беріліс механизмдері үлгілі аспаптарда және пайдалану шарты бойынша вибрация болмайтын аспаптарда қолданылады.



2.5 сурет – Секторлы беріліс механизмі бар өлшеу аспабы

Сұлбадағы белгілер: 1 - ұстаушы; 2 - плата; 3 - шкала; 4 - нұсқағыш; 5 - түтікшелі серіппе; 6 - спиральді серіппе; 7 - тісті дөңгелек; 8 - тісті сектор; 9 - ұштық; 10 - тяга (тарту).

Серіппенің 5 қуысы өлшенетін ортамен 1 ұстаушытағы канал арқылы байланысқан. 1 ұстаушы 2 платамен жабдықталған, ал платаға секторлы беріліс механизмі орнатылады. Секторлы беріліс механизмде 7 тісті дөңгелек және 8 тісті сектор болады. Беріліс механизмде люфтіні болдырмау үшін 6 спиральді серіппе қолданылады. 8 секторға 10 тарту бекітіледі, ал тартудың басқа шеті 9 ұштыққа бекітіледі.

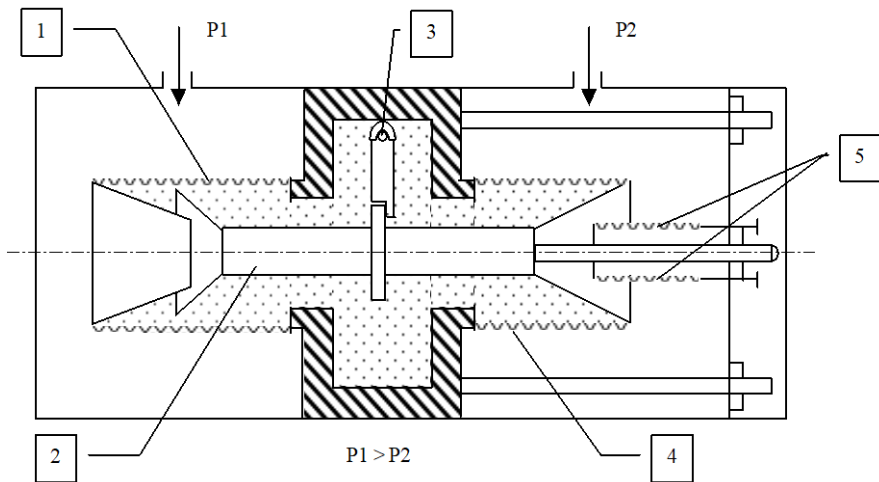
Тарту арқылы серіппенің бос ұшының орын ауыстыруы тісті секторға беріледі, ал оның айналуы 3 бірқалыпты шкала бойынша көрсетулерді алу үшін 4 нұсқағышқа беріледі,

Бірорамды түтікшелі серіппесі бар вакуумметрлер манометрлерге ұқсас, бірақ нұсқағыш сағат тілі бағыты бойынша да, сағат тіліне қарсы да қозғалуы мүмкін.

Сильфонды сезгіш элементі бар ӨА.

Бұл аспаптар асқын қысымды, сиретілуді және қысым айырымын өлшеуге арналған. Оларды *көрсететін* және *өзі жазатын* түрлерде орындайды.

Қысымның айырымын және сұйық пен газ тәріздес орталарының шығынын өлшеу кезінде *сильфонды диффометрлер* кең қолданылады (2.6 сурет).



2.6 сурет –Сильфонды дифмонометр

Сұлбадағы белгілер: 1,4 – жұмыс сильфондары; 2 – шток; 3 – рычаг; 5 – қарама-қарсы әсер ету серіппелер.

Өлшеніп жатқан қысымның ауытқуына байланысты 1 жұмыс сильфоны қысылады, сол себептен ол диффометрдің ішкі жағын толтырып тұратын жұмыс сұйықтығының 4 жұмыс сильфонның ішкі жағына қарай ығыстырулуына әкеледі. Сильфон деформациясы 2 штоктың орын ауыстыруын болдырады және 5 қарсы әсер етуші серіппенің тартылысын өзгеріске ұшыратады. Сильфонның деформация күші қарсы әсер етуші серіппенің тартылыс күшімен теңескенде штоктың орын ауыстыруы тоқтайды. 2 штоктың орын ауыстыру кезінде ол өзі жазатын механизммен байланысқан 3 рычагты сағат тіліне қарама-қарсы бағытта бұрады.

Қысымның ауытқуының шектері: 0,0063 – 0,25 МПа.

Осы аспаптардағы өлшеніп жатқан асқын қысымның рұқсат етілген шектері: 6,3; 16 және 32 МПа.

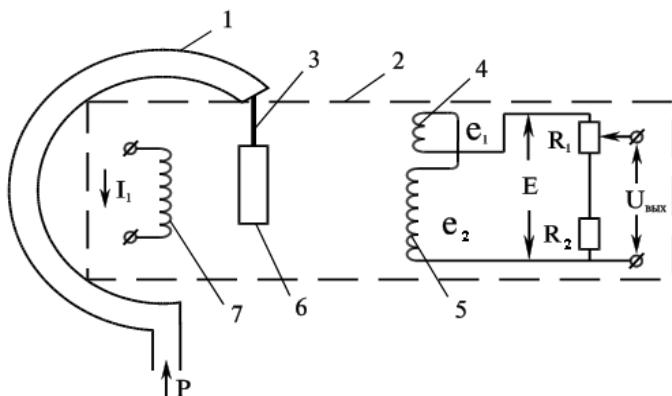
Дәлдік кластары: 1 және 1,5.

Тікелей түрлендіру әдісіне негізделген қысымның деформациялық өлшеу түрлендіргіштері.

Сезгіш элементтің орын ауысуының өлшеу ақпарат сигналына түрленуі үшін индуктивті, дифференциал-трансформаторлы, сыйымдылықты, тензорезисторлы және т.б. түрлендіруші элементтер кеңінен қолданылады.

Сезімтал элемент жасаған күш-жігерді өлшеу ақпарат сигналына түрлендіру үшін пьезоэлектрлік түрлендіруші элементтері қолданылады.

2.7 суретте дифференциалды – трансформаторлы (ДТ) қысымды өлшеу түрлендіргішінің сұлбасы көрсетілген.



2.7 сурет – Дифференциалды – трансформаторлық қысымды өлшеу түрлендіргіші

Сұлбадағы белгілер: 1 – деформациялық сезгіш элемент, 2 - дифференциал – трансформаторлы түрлендіргіш элементі, 3 – тарту, 4,5 – екінші ретті орам секциялары, 6 – қозғалмалы өзек, 7 – бастапқы орам.

Түрлендіргішті берілген диапазонға баптау кезінде қолданылатын (R_1 , R_2) бөлгіш екінші ретті орам шығысына жалғанған.

Шығыс сигналын қалыптастыру: I_1 тогы бастапқы орам бойынша ағу кезінде, екінші орамның екі секциясына кіретін және оларда e_1 және e_2 ЭҚК-ін индукциялайтын магнитті ағындар пайда болады. Бұл ЭҚК-ің мәндері M_1 және M_2 өзара индуктивтіліктерімен байланысты:

$$e_1 = 2\pi \cdot f \cdot I_1 \cdot M_1,$$

$$e_2 = 2\pi \cdot f \cdot I_1 \cdot M_2,$$

мұндағы f – I_1 ток жиілігі.

4 пен 5 секция орамдарының қарама-қарсы қосылуы кезінде:

$$E = e_1 - e_2 = 2\pi \cdot f \cdot I_1 \cdot (M_1 - M_2) = 2\pi \cdot f \cdot I_1 \cdot M,$$

Мұндағы

M - бастапқы және екінші ретті орамдар арасындағы өзара индуктивтілігі.

Екінші орамында R_1 және R_2 кедергілері барунифицирленген ДТ-түрлендіргіштері үшін $V_{шығу}$ шығыс сигналы бастапқы орам мен шығыс тізбек арасындағы $M_{шығу}$ индуктивтілікпен анықталады:

$$V_{шығу} = 2\pi \cdot f \cdot I_1 \cdot M_{шығу}.$$

$M_{шығу}$ 6 өзектің δ орын ауыстыруымен келесі тәуелділікпен байланысты:

$$M_{шығу} = M_{max} \frac{\delta}{\delta_{max}}, \quad (2.9)$$

мұндағы M_{max} – өзектің максимал орын ауыстыруына сәйкес келетін шығыс тізбек пен бірінші ретті орам арасындағы индуктивтіліктің максимал мәні.

Осыдан ДТ – түрлендіргішінің статикалық сипаттамасын аламыз:

$$V_{шығу} = \frac{2\pi f I_1 M_{max}}{\delta_{max}} \delta, \quad (2.10)$$

$$\delta_{max} = 1,6; 2,5; 4 \text{ мм},$$

$$V_{вых} = -I + I \text{ В.}$$

$$\delta = \kappa \cdot P, \quad (2.11)$$

мұндағы δ – СЭ деформациясы (орын ауыстыруы);

κ – түрлену коэффициенті.

ДТ – түрлендіргіштер дәлдік кластары - 1,0 – 1,5.

Қысымның пьезоэлектрлік өлшеу түрлендіргіштері.

Өлшенетін қысым СЭ деформациясы арқылы күшке түрленеді. СЭ деформациясы пьезоэлектрлік элементтің көмегімен өлшеу ақпараттың сигналына айналады.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіш элементінің жұмыс істеу принципі бірқатар кристалдарда: кварц, турмалин, барий және т.б. байқалатын пьезоэффектінде негізделген.

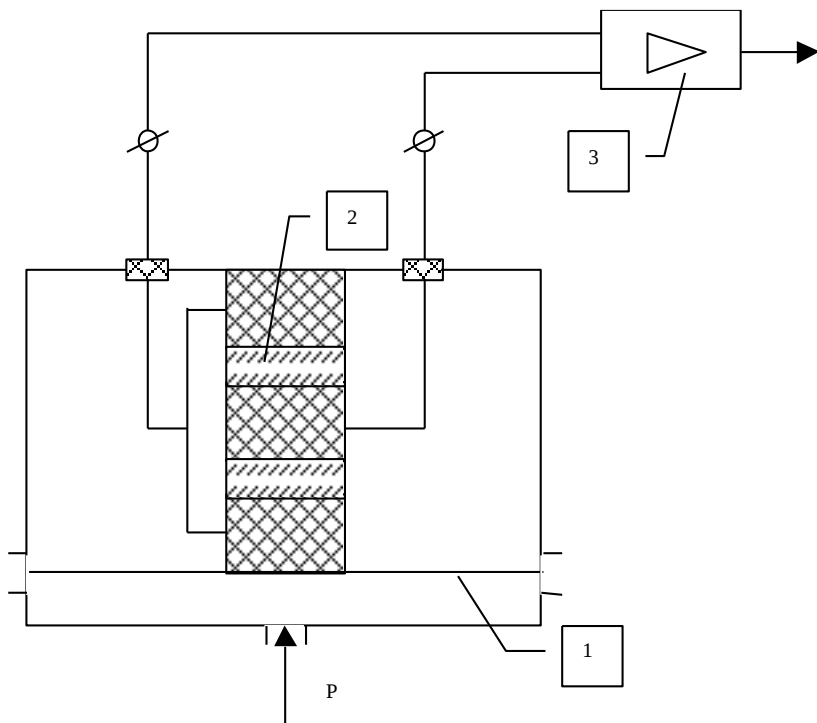
Пьезо-эффект: егер кварц пластиналардың X -кескіндерін N күшімен қысатын болса, онда оның бетінде әртүрлі таңбалы зарядтары туындайды. Зарядтың Q мәні N күшімен келесі өрнекпен байланысты:

$$Q = \kappa \cdot N,$$

мұндағы k – пьезоэлектрлік тұрақты, ол пластинаның ұзындығына тәуелді емес және кристалдың табиғатымен анықталады.

Кварц үшін $k=2,1 \cdot 10^{-12}$ Кл/н.

2.8 суретте қысымның пьезоэлектрлік түрлендіргішінің сұлбасы көрсетілген.



2.8 сурет - Пьезоэлектрлік қысымды өлшеу түрлендіргіші

2.8 суретте көрсетілгені: 1 – мембрана, 2 – кварц пластина (5мм x 1мм), 3 – электронды күшейткіш ($R_{bx}=10^{13} \text{ Ом}$)

$$Q=k \cdot f \cdot P, \quad (2.12)$$

мұнда P – өлшенетін қысым;

F – мембрананың эффективті ауданы.

«Мембрана-кварц пластиналар» жүйенің тербелу жиілігі килогерц ондықтарына тең, сондықтан осы түрдегі өлшеу түрлендіргіштері жоғары динамикалық сипаттамаларына ие, осы себептен олар *жылдам агымды процестердің жүйелерінде* қысымды бақылауда кең қолданылады.

Өлшеулердің жоғарғы шектері: 2,5 – 100 Мпа.
Дәлдік кластары: 1,5 және 2,0.

2.4 Қысымды өлшеуге жалпы әдістемелік нұсқаулықтар

Жоғарыда қарастырылған асқын, абсолютті және вакуумды қысымды және қысым айырмашылықтарын өлшеу құралдары кеңінен технологиялық процестерді автоматтандыру кезінде, сонымен қатар ғылыми зерттеулерді жүргізу барысында қолданылады.

Қысымды және қысым айырмашылықтарын өлшеу дәлдігі таңдалған әдіс түрінен, өлшеу құралдардың метрологиялық сипаттамаларынан, өлшеурлер шартынан, тағы да басқа себептерге тәуелді.

Әдіс пен өлшеу құралын таңдауды қойылған есеп, қажетті дәлдік және де өлшеурлер шарттарына байланысты орындау керек.

Өлшеу құралды таңдау барысында негіз ретінде оның қалыпты жағдайдағы дәлдік класын емес, құрылғылардың пайдалану кезінде қамтамасыз ете алатын дәлдік класын ескеру қажет.

Өлшеу жүйесін таңдау өлшеу диапазонын таңдаумен қатар жүруі тиіс, демек құрылғы шкаласын таңдаумен бірге жүреді. Шкаланы таңдау кезінде қысым аспаптарының, дифманометрлердің және екінші ретті аспаптардың рұқсат етілген қателіктері келтірілген қателіктер түрінде, өлшеу диапазонынан % - да көрсетілгенін ескеру қажет. Сондықтан бірдей басқа жағдайларда аспап шкаласының бірінші жартысы үшін өлшеу қателігі оның шкаласының екінші жартысына қарағанда көп болады.

Бастапқы өлшеу құрылғының шығудағы сигналының және екінші өлшеу құрылғының кірудегі сигналының энергия түрлерін сәйкестіру үшін қосымша түрлендіргішті талап ететін аспаптарды бастапқы аспап ретінде таңдамаған жөн. Өлшеу сұлбасында қосымша түрлендіруштерді қолдану өлшеу қателіктерін жоғарлатады. Автоматтандырылған басқару жүйелерін әзірлегенде шығыс сигналы унификацияланған тұрақты тоқ болатын бастапқы құрылғыларын пайдаланған жөн.

Қоршаған орта шарттары өлшеу дәлдігіне қатты әсер етеді, оларды құрылғыны орнату жерін таңдаған кезде ескеру қажет.

Құрылғының орнатылатын жері оларды бақылауды оңай болуын қамтамасыз ету қажет. Қысымды өлшеу жер мен құрылғыға дейінгі қосу желілер ұзындығы барынша минималды болуы қажет. Ең ұзын рұқсат етілетін қосу желілер ұзындығы 50 м артық болмауы қажет. Сонымен қатар қосу желілер ұзындығы өскен сайын құрылғының жиіліктерді өткізу жұмыс жолағы азаяды. Қысымы өлшенетін ыстық ортаның тікелей әрекетінен құрылғыларды қорғау үшін арнайы қосымша қондырғыларды орнату керек.

2.5 Екінші тарауға бақылау сұрақтары.

1. Қысым түрлері және оны өлшеудің бірліктері.
2. Қысымды өлшеу құралдарының классификациясы.
3. Қысымды өлшеу сұйықтық құралдары.
4. Қалқымалы дифманометрдің әрекет принципі.
5. Қоңыраулы дифманометрдің әрекет принципі.
6. Деформациялық қысым өлшеу құрылғылары.
7. Сильфондардың міндеті және әрекет принципі.
8. Мембраналардың міндеті және әрекет принципі.
9. Деформациялық қысым өлшеу аспаптарын бейнелеңіз
10. Қысымды өлшеу құралдардағы сезгіш элементтерінің түрлері.

3 тарау. Сұйықтық, газ және будың мөлшері мен шығынын өлшеу

3.1 Жалпы мәліметтер

Заттың мөлшерін оның массасымен немесе көлемімен анықтайды және сәйкесінше масса (kg , m) немесе көлем бірліктерімен (m^3 , l) өлшейді.

Белгілі бір уақыт аралығында *зат мөлшерін* өлшеу құрылғыларын *санағыштар* деп атайды.

$\delta\tau = \tau_1 - \tau_2$ таңдалған уақыт аралығында санағыш арқылы өткен көлем бірлігіндегі V зат мөлшері τ_1 және τ_2 уақыт аралығында алынған N_1 және N_2 санағыштар көрсеткіштерінің айырымы арқылы анықталады:

$$V = q (N_2 - N_1), \quad (3.1)$$

мұндағы q – санағыш көрсеткішінің бірлігіне келетін зат мөлшерін анықтайтын санағыш тұрақтысы.

Технологиялық процестердің маңызды параметрлерінің бірі құбырлар бойынша өтетін заттардың *шығыны* болып табылады.

Заттың шығыны – уақыт бірлігінде берілген канал бөлігі арқылы ағатын зат мөлшері.

Зат шығыны келесідей бөлінеді:

- көлемдік шығын Q ; m^3/c , $m^3/ч$, $л/мин$ бірліктерімен өлшенеді;
- массалық шығын G ; $кг/сек$, $кг/сағ$, $т/сағ$ бірліктерімен өлшенеді;
- орташа шығын:

$$Q = V / (\tau_1 - \tau_2), \quad (3.2)$$

мұндағы V – τ уақыт аралығында санағышпен өлшенген зат көлемі.

- шын немесе лездік шығын:

$$Q = dV / d\tau \quad \text{немесе} \quad G = dm / d\tau -$$

зат мөлшерінің уақыт бойынша туындысы болып табылады.

3.2 Көлемдік санағыштары

Көлемдік санағыштардың *жұмыс жасау принципі* өлшенетін ортаның көлемін белгілі көлемі бар камераларымен тікелей өлшеп, санағыш арқылы өткен порциялар санын санауда негізделген.

Көлемдік санағыштар *босайтын* және *ығыстырғыш* деп бөлінеді.

Босайтын көлемдік санағыштарда өлшенетін орта оңай ағып кететін қатаң камералары бар. Олар газ мөлшерін өлшеу үшін жарамсыз болып келеді.

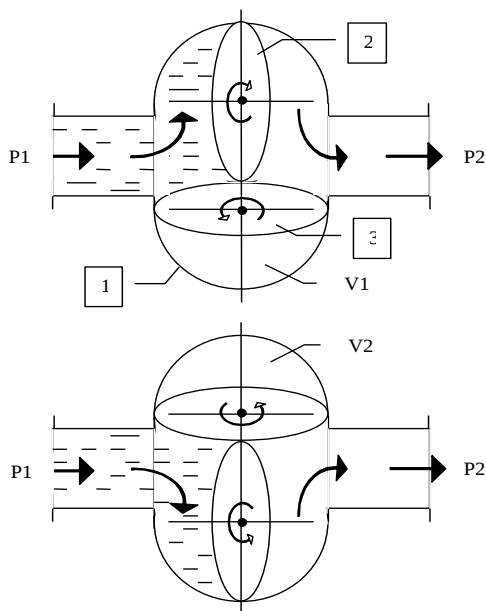
Қатаң камерасы бар босайтын санағыштың қарапайым түрі *өлшем бак* болып табылады. Сонымен қатар бұл түрге барабанды және аударылатын санағыштары жатады.

Ығыстырғыш көлемдік санағыштардың қозғалатын қабырғалары бар өлшем камералары болады, олар өлшенетін фазаны ығыстырып, камераны келесі порция үшін босатады.

Осы типті көлемдік санағыштарына бір поршеньді; көп поршеньді; сақиналық; сопақ тістегершіктері бар; ротациялық; құрғақ газдық; сұйық газдық; дискілі санағыштар жатады.

Сопақ тістегершіктері бар көлемдік санағыштар.

Сұйық заттар үшін сопақ тістегершіктері бар көлемдік санағыштар таралған (3.1 сурет)



3.1 сурет – Сопақ тістегершіктері бар көлемдік санағыштар

Суреттегі белгілеулер: 1 - корпусы; 2,3 - сопақ тістегершіктері.

Жұмыс істеу принципі. Тістегершіктерге шабуылшатын өлшенетін ағын оларда P_1 және P_2 қысым құлауын жасайды. Осы құлаудың әсерінен ағын 3 сопақ тістегершікте бұру моментін тудырады және 2 тістегершікті жүргізетін 3 тістегершікті айналуға мәжбүрлейді.

3 тістегершік пен корпус арасындағы V_1 көлем әуелі кесіледі және содан соң тістегершіктің айналуы кезінде - ығыстырылады. Осылайша, тістегершіктің бір айналымында V_1 және V_2 өлшегіш қуыстар екі рет толтырылады және екі рет босатылады. Соңында бір айналымда санағыш арқылы V_1 -дің төрт көлеміне тең сұйықтық көлемі өтеді. Тістегершіктердің біреуінің осі құрылғы корпусынан тыс орналасқан санағыш механизмді айналдырады.

Артықшылықтары. Өлшеу дәлдігі жоғары: өлшенетін мәннің (0,5 – 1,0) %, қысым жоғалуы елеусіз, көрсетулері тұтқырлыққа тәуелді емес.

Сопақ тістегершіктері бар көлемдік санағыштар әртүрлі сұйықтықтарды, соның ішінде мұнай мен мұнай өнімдерін өлшеуге қолданылады.

Кемшілігі: өлшенетін орта механикалық қоспалардан жақсы сүзілуі қажет.

Өлшеу шегі: 0,01 – 250 м³/сағ.

Калибр: $D=12 - 250$ мм.

3.3 Жылдамдық санағыштары

Көлемдік санағыштарға карағанда жылдамдық санағыштарда (тахометрлерде) өлшеу камералары болмайды, заттың мөлшерін көлемдік бірліктерде жанама өлшеу жолымен орындайды.

Санағыш арқылы өтетін сұйықтықтың ағынымен қозғалысқа келтірілетін аксиалды немесе тангенциалды турбинкалар жылдамдық санағыштардың сезгіш элементі болып табылады.

Жұмыс істеу принципі: уақыт бірлігінде турбинканың айналым саны (n) турбинканы жуып өтетін ағын жылдамдығына пропорционалды:

$$n = k \cdot w,$$

мұндағы k – пропорционалдық коэффициенті;

w - ағын жылдамдығы.

Санағыш арқылы көлемдік шығын:

$$Q = w \cdot F, \quad (3.3)$$

мұндағы F –санағыш қимасы.

$$\text{Осыдан:} \quad n = \frac{k}{F} Q. \quad (3.4)$$

Сондықтан тахометр шкаласы өлшенетін сұйықтықтың Q көлемдік шығыны бірліктерінде градуирленуі мүмкін.

Аксиалды турбинкалары бар санағыштар 1300 м³/сағ дейінгі шығындағы заттың мөлшерін өлшеу үшін қолданылады.

Дәлдік кластары: 1; 1,5; 2.

Тангенциалды тубинкалары бар санағыштар шағын шығындағы заттың мөлшерін өлшеу үшін қолданылады.

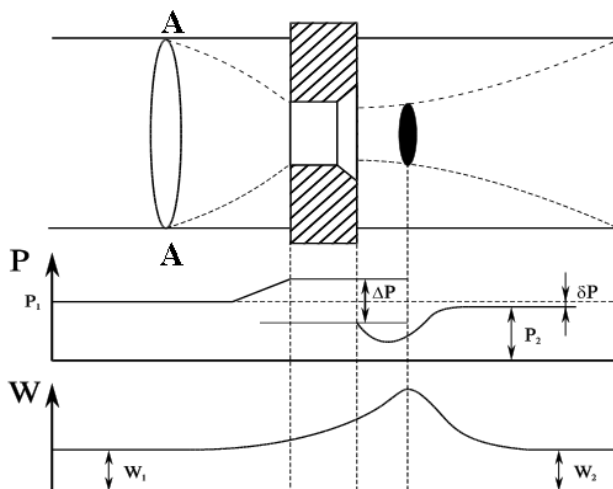
Өлшеудің жоғарғы шегі: 3 - 20 м³/сағ.

Дәлдік кластары: 2; 3.

Бұл санағыштардың кемшілігі – көрсетулердің өлшенетін сұйықтың тұтқырлығынан тәуелділігі.

3.4 Қысымның айнымалы құлау принципіне негізделген шығын өлшегіштері

Сұйықтықтардың, газдардың және булардың шығынын өлшеудің ең таралған бір принципі - тарылтатын құрылғыда қысымның айнымалы құлауының шығынын өлшеу принципі болып табылады.



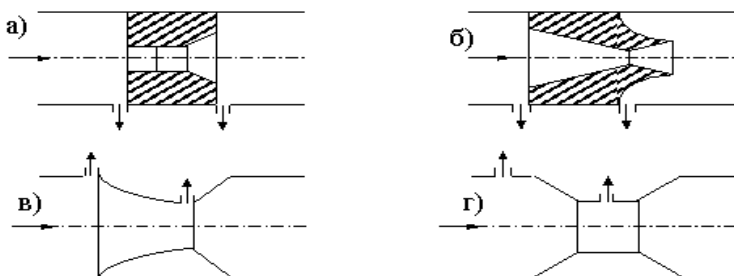
3.2 сурет – Тарылтатын құрылғыда қысымның айнымалы құлау принципі

Қарастырылып отырған принципке сәйкес құбырға тарылтатын құрылғыны (ТҚ) орнатады. А-А қимасын өтіп ағын қысылады және инерция арқасында қысылу жалғасып, тарылтатын құрылғының шығысында одан бір арақашықтықта ең үлкен мәнге жетеді (3.2 сурет). Ағыстың азаюы ағынның W тарылту құрылғы алдындағы жылдамдығына қарағанда жылдамдығының үлкеюіне әкеледі. Бұл ағынның кинетикалық энергиясының көбеюін білдіреді. Энергияны сақтау заңына сәйкес, кинетикалық энергияның көбеюі потенциалдық энергияның азаюы есебінен жүреді. Ал бұл ағын P қысымының

тарылтатын құрылғы шығысында азаюына әкеледі. Тарылтатын құрылғыда дифманометрмен өлшенетін қысым құлауы $\Delta P = P_1 - P_2$ пайда болады.

Стандартты тарылтатын құрылғыларға келесілер жатады (3.3 сурет):

- стандартты диафрагма (а);
- стандартты сопло (б);
- Вентури соплосы (в);
- Вентури құбырлары (г).



3.3 сурет – Стандартты тарылтатын құрылғылар

Қарапайымдылығы және төмен құны диафрагмалардың кең қолданысын шарттайды. Бірақ тарылтатын құрылғыларды таңдау кезінде келесі факторларды да ескеру керек:

1) Тарылтатын құрылғыдағы қысым жоғалуы (δ_p) шектелсе, онда тарылтатын құрылғыны таңдау кезінде график бойынша анықталатын осы жоғалуды ескеру керек.

2) Диафрагма және соплоны қолдану кезіндегі қысым жоғалуы іс жүзінде бірдей.

3) Вентури соплосында δ_p бірталай төмен.

4) Шығын коэффициенті α өзгере алады, өйткені құбырдағы жергілікті кедергілер жағымсыз әсерлерді әкеледі.

5) δ_p/p қатынасы ϵ кеңейтілуіне түзету көбейткіштің анықтау қателігіне әсер етеді.

Жоғарыда келтірілген тарылтатын құрылғыларға қойылған талаптарына сәйкес, газ және бу шығынын өлшеу кезінде тарылтатын құрылғысының тиімді модулін таңдау сұрағы қарама қарсы талаптарды қанағаттандыратын компромисті жолмен шешілуі керек.

Тарылтатын құрылғы модулі:

$$m = \frac{F_0}{F_1} = \frac{d^2}{D^2}, \quad (3.5)$$

мұндағы F_0, d – тарылтатын құрылғының кіру тесігінің ауданы мен диаметрі;
 F_1 – $A-A$ қимасындағы ағынның көлденең қимасының ауданы;
 D – құбырдың диаметрі.
 Шығын коэффициенті:

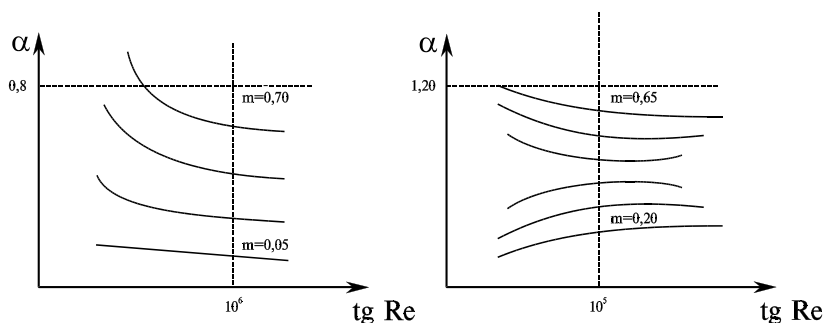
$$\alpha = f(Re_D, m), \quad (3.6)$$

мұндағы Re_D – Рейнольдс саны;

m – тарылтатын құрылғының модулі.

Шығын коэффициенті α әзірше теориялық жолмен дәл есептелінбейді. α мәндері тарылтатын құрылғылардың кейбір үлгілері үшін тәжірибелік жолмен анықталған.

Стандартты диафрагма (а), сопло мен Вентури соплосы (б) арқылы тегіс құбырларда ағатын орнықталған ағын үшін тәжірибелік жолмен табылған α -ның Рейнольдс Re санынан тәуелділіктері 3.4 суретте келтірілген.



3.4 сурет – Шығын коэффициентінің Рейнольдс санынан және тарылтатын құрылғы модулінен тәжірибелік тәуелділіктері

Графиктен көрінетіндей m төмендеуімен Re төмендейді. Бұдан келесі қорытындыны айтуға болады: кіші m шамаларын таңдағанда шығынды өлшеу кезінде оның азаюы таңдалынған α мәнін өзгертпейді. Re аз болған сайын $\alpha = f(Re)$ тәуелділігінің көрінуі күшейеді. Re өсу кезінде оның шығын коэффициентіне әсері азаяды.

α мәндері нормативті құжаттар кестелерінде келтіріледі.

Қарастырылған тарылтатын құрылғылар жекелік градуирлеуді қажет етпейді және *стандартты тарылтатын құрылғылар* деп аталады.

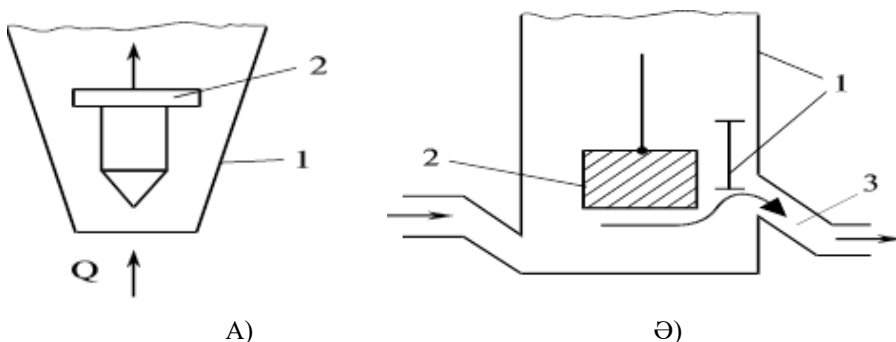
Стандартты тарылтатын құрылғылар құбырлардың $D=50$ мм кем емес диаметрлері үшін қолданылуы мүмкін, кері жағдайда шығын коэффициентін анықтау қателіктері көбейеді.

3.5 Ағынмен айналып өтетін шығын өлшегіштер

Ағынмен айналып өтетін шығын өлшегіштері басқаша қысымның тұрақты құлауының шығын өлшегіштері деп аталады.

Ағынмен айналып өтетін шығын өлшегіштерінде ағынмен айналып өтетін дене (қалқыма, поршень, клапан, шарик, бұрылатын пластика) ағынның әсерінен күш алады, бұл әсер шығын өскенде көбейеді және ағынмен айналып өтетін денені ығыстырады. Кері күштік әсер ретінде ағынның тігінен төменнен жоғарыға қарай қозғалысы кезіндегі ағынмен айналып өтетін дененің салмағы немесе ағынның еркін бағыты кезіндегі пружинаның кері әсер күші болып табылады (3.5 сурет).

Қарастырылып отырған шығыс түрлендіргіштерінің шығыс сигналы ретінде ағынмен айналып өтетін дененің орын ауыстыруы болады.



3.5 сурет – Ағынмен айналып өтетін шығын өлшегіштердің түрлендіргіш элементтерінің сұлбалары

3.5А суреттегі белгілеулер: 1 – конусты құбыр; 2 – қалқыма; 3 – қалқыманың жоғарғы жиегі.

Өскелең ағын әсерінен қалқыманы жоғарыға көтерілген кезінде қалқыма мен конусты құбырдың қабырғасының арасындағы өту сақинасының ауданы көбейіп, қалқымаға әсер ететін күштің азаюына әкеледі.

3.5 Ә) суреттегі белгілеулер: 1 – поршень; 2 – цилиндр қабырғасы; 3 – бұйірлік тесігі.

Поршень көтерілген кезде 2 цилиндр қабырғасындағы шығыс бұйірлік тесіктің ауданы көбейеді.

Ағынмен айналып өтетін шығын өлшегіштерінің – *ротаметрлердің* бірнеше түрлері бар.

Әйнекті конусты трубкасы бар ротаметрлер газдар мен мөлдір сұйықтықтарды өлшеуге арналған. Оларда 3.5 А) суреттегі көрсетілген түрлендіргіш элемент қолданылады. Шкала тікелей әйнектің сыртқы бетіне

орнатылған. Сілтегіш ретінде айналатын қалқыманың жоғарғы горизонтал жазықтығы болып табылады.

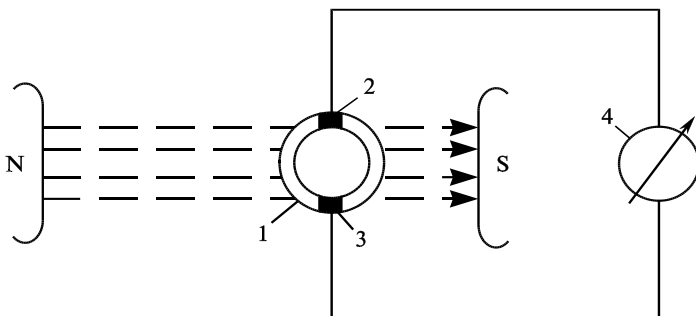
Цилиндрлік әйнекті трубкасы мен цилиндрлік қалқымасы бар ағынмен айналып өтетін ротаметрлер мөлдір емес сұйықтықтардың шығынын өлшеуге қолданылады.

Электрлік және пневматикалық шығыс сигналдары бар ротаметрлер технологиялық желілердегі газдар мен сұйықтықтардың шығынын өлшеу үшін қолданылады.

Тұрақты қысым құлауының поршеньді шығын өлшегіштерде 3.5 Ә) суретте көрсетілген түрлендіргіш элемент қолданылады. Дәлдік класы: 2,5.

3.6 Электромагниттік шығын өлшегіштер

Электромагниттік шығын өлшегіштердің жұмыс істеу принципі электромагнитті индукция заңына (Фарадей заңы) негізделген. Осы заң бойынша магнитті күштік сызықтармен қиысатын өткізгіште оның қозғалыс жылдамдығына пропорционалды ЭҚК-ші индукцияланады (3.6 сурет).



3.6 сурет – Электромагниттік шығын өлшегіштің сұлбасы

3.6 суреттегі белгілеулер: 1 – металды магнит емес құбыр; 2,3 – электродтар; 4 – өлшегіш құрылғы.

Егер өткізгіш ретінде магниттің полюстері арасында ағатын электрөткізгіш сұйықтықтың ағынын қолданақ және сұйықтыққа келетін ЭҚК-ін өлшесек, онда сұйықтық ағынының жылдамдығын немесе көлемдік шығынын анықтауға болады. Құбырдың ішкі беті электроқшаулағыш материалмен (эмаль, әйнекті пластик, резина) қапталған.

Сұйықтық магнитті өріспен қиылысқанда, онда индукцияланатын ЭҚК-і өлшенетін, электромагниттік шығын өлшегіштер жиі қолданылады. Ол үшін магнит немесе электромагнит полюстары арасында құбыр учаскесін орнатады; бұл учаскесі магнит емес материалдан жасалады және ішінен электр өткізбейтін оқшалаумен жабылған. Оған сұйықтық бағытына және магнит өрісінің күштік

сызулар бағытына да перпендикуляр болатын бағытта екі электрод енгізіледі. Электродтардағы потенциал айырмашылығы келесідей анықталады:

$$E = BDv = \frac{4BQ_0}{\pi D} \quad (3.7)$$

мұндағы B – магнит индукциясы;

D – құбырдың ішкі диаметріне тең электродтар ұштары арасындағы арақашықтық;

v – орта жылдамдық;

Q_0 – сұйықтықтың көлемдік шығыны.

Өлшенетін потенциалдар айырымы E сұйықтықтың көлемдік шығынына пропорционал болатыны формуладан көрініп тұр.

Электромагниттік шығын өлшегіштер тұрақты токпен де, айнымалы токпен де қоректенуі мүмкін. Олардың қолдану аймағын анықтайтын осы электрмагнит шығын өлшегіштердің артықшылықтары да кемшіліктері де бар.

3.6.1 Тұрақты магнит өрісі бар электрмагниттік шығын өлшегіштер.

Тұрақты магнит өрісінің негізгі артықшылықтары келесі:

- магнит жүйенің құрылысының қарапайымдылығы;
- жоғары жиілікпен өзгертін шығындарды өлшеу мүмкіндіктері;
- айнымалы магнит өрісін қолданғанда пайда болатын көптеген бөгеттердің болмауы;
- төмен электрлік өткізгіштігі бар заттардың шығынын өлшеу мүмкіндігі.

Тұрақты магнит өрісінде маңызды кемшілігі бар – түрлендіргіштің кедергісін өзгертетін электродтар поляризациясы; сондықтан шығын өлшегіштің қалыпты жұмысын бұзатын қосымша маңызды қателіктері пайда болады. Поляризацияны төмендету үшін арнайы материалдардан (көмір, каломель) жасалған электродтарды немесе электродтарға арналған арнайы жабындар (платина, тантал) қолданылады.

Сонымен қатар тұрақты магнит өрісі бар электрмагнит шығын өлшегіштерді поляризация құбылысы практикалық білінбейтін қысқа мерзімді өлшеулерде және айнымалы магнит өрісінде өлшенуі мүмкін болмайтын тез өзгертін шығындарды өлшегенде зертханаларда және ғылыми практикада қолданады.

Айнымалы магнит өрісі электродтардың поляризациясын минимумға келтіреді, сондықтан шығын өлшегіштерде кеңінен қолданылады. Бірақ осындай өрістің қолданылуына бірсыпыра шектеулер бар:

1) шағын электр өткізгіштігі бар - 10-6 См/м төмен (мысалы, жеңіл мұнай өнімдері, спирттер, т.б.) - айнымалы магнит өрісін қолдану мүмкіншілігінің шектелуі;

2) шығын түрлендіргіш пен өлшеу аспапты байланыстыратын сымдар ұзындығы олар арасындағы сыйымдылық кедергісімен шектелген және сұйықтықтың меншікті өткізгіштігі не ғұрлым кіші болса, соғұрлым үлкен болады;

3) айнымалы магнит өрісінде ЭҚК-ің пайдалысигналымен бірге паразитті (трансформаторлық) ЭҚК-і пайда болады. Трансформаторлық ЭҚК пайдалы сигналдан айтарлықтай көп болуы мүмкін, бірақ әдетте 20-30% құрайды;

4) айнымалы магнит өрісі магнит құбырында, құбыр қабырғалары мен өлшенетін сұйықтықта құйынды Фуко токтарының пайда болуын тұдырады;

5) кезбе токтары мен сыртқы электрмагнит өрістерінің себебінен бөгеттер пайда болуы мүмкін.

3.6.2 Төменгі жиіліктегі импульсты магнитты өрісі бар электромагниттік шығын өлшегіштер.

Айнымалы магнит өрісті қолдану өрістің жиілігі өскен сайын зор көрінетін едауір бөгеттермен және шектеулермен байланысты. Сондықтан тез өзгеретін шығындарды өлшеу қажет болмаса жиі жағдайда магнит өрісінің әдеттегі жиілігін (50 Гц) төмендетеді. Осы амалдың бір сыпыра артықшылықтары бар:

1) өндірістік жиіліктің сыртқы бөгеттерінің әсерлері толығымен жойылады;

2) құйын токтардың әсерлері толығымен жойылады деуге болады, сондықтан жоғарғы қысымда шығынды түрлендірушлерді құрастыру айтарлықтай қарапайымдалады;

3) меншікті индукциялық және сыйымдылық бөгеттердің әсерлері төмендейді;

4) электрэнергияны тұтыну төмендейді;

5) шихтіленген магнит құбырды пайдаланбауға болады;

6) электродтар мен өлшеу тізбектердің экрандалуының жойылуы себебінен оларды жасау қарапайымдалады.

Импульсты өрісі бар шығын өлшегіштердің негізгі артықшылықтары: өндірістік жиіліктегі синустік формасы бар айнымалы өріспен салыстырғанда өлшеу дәлдігі жоғарылау (қатынасты қателік 0,2-0,5%); шығындалатын қуаты айтарлықтай аз.

3.6.3 Электрмагниттік шығын өлшегіштердің метрологиялық сипаттамалары және қолдану салалары.

Электрмагниттік шығын өлшегіштердің қателігі негізінде олардың градуирлену қателігімен және ЭҚК-ің потенциалдар айырымын өлшеу қателігімен анықталады. Бірақ сұйықтық ағындағы электрхимиялық процестер, әртүрлі бөгеттер мен көздеулер, көректенудің тұрақсыздығы, т.б.

қазіргі таңда осы типті шығын өлшегіштердің әрекет принципімен анықталатын шығын өлшеудің потенциалды жоғарғы дәлдігін алуға мүмкіндік бермейді. Сонымен бірге алдында айтылғандай осы типті шығын өлшегіштердің дәлдік кластары 1,0—2,5.

Дегенмен электромагниттік шығын өлшегіштер басқа типті шығын өлшегіштермен салыстырғанда өздерінің аз инерциялығына байланысты кеңінен металлургия, биохимия және тамақ өндірістерінде, құрылыс, медицинада кең қолданылады. Тез өзгеретін шығындарды өлшегенде, кешігудің маңызды рөлі бар автоматты реттеу процестерінде шығын өлшегіштер мүлдем қажетті.

Аспаптағы гидравликалық жоғалтулар минималды, себебі электромагниттік шығын өлшегіштердің бастапқы түрлендіргіштерінің құбыр ішіне шығатын бөліктері жоқ, тарылуы немесе профилін өзгертулері де жоқ.

Электромагнит шығын өлшегіштер көрсетулеріне сұйықтықта өлшенген бөлшектер мен газ көпіршіктері және өлшенетін сұйықтықтың физика-химиялық қасиеттері (тұтқырлығы, тығыздығы, температурасы және т. б.) әсер етпейді (егер олар оның электр өткіздігішін өзгертпесе).

Электромагниттік шығын өлшегіштерді кезкелген қалыпта, жергілікті кедергілерден кейін құбырдың 20 диаметрінен кіші емес және жергілікті кедергілерден дейін сегіз диаметрден кем емес қашықтықта монтаждауға болады. Бастапқы түрлендіргіштердің осындай құрылымы агрессивті және абразивті орталар шығынын өлшеуге мүмкіндік беретін жаңа оқшаулау, коррозияға қарсы және басқа да жабындарды қолдануды рұқсат етеді.

Электромагниттік шығын өлшегіштердің құрылымдық күрделігімен оларға мұқият күнделікті техникалық күтімінің (нөлді реттеу, қосымша баптау және т. б.) қажеттілігіне қарамай аталған артықшылықтар осындай өлшегіштердің кең тарауын қамтыды.

Электромагниттік шығын өлшегіштер өте кіші ($3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с}$) шығындарды (мысалы, қан тамырлары бойынша қан шығынын өлшеу үшін) және өте үлкен ($3 \text{ м}^3/\text{с}$) сұйықтық шығындарын өлшеуге қолданылады. Сонымен бірге, бір өлшемді шығын өлшегіштің өлшеу диапазоны 10:1 мәніне дейін жетеді, яғни өте үлкен.

Қорытынды. Электромагниттік шығын өлшегіштердің негізгі артықшылықтары:

- өлшенетін заттың тұтқырлығы мен тығыздығынан көрсеткіштердің тәуелсіздігі;
- құбырлардың өте үлкен диаметрлеріне арналған әдісті іске асыру мүмкіндігі және бұл ретте қосымша динамикалық кедергінің болмауы;
- шкаланың сызықтығы;
- басқашығын өлшегіштерге қарағанда құбырлардың тікелей учаскелерінің кіші ұзындықтарының қажеттілігі;
- жоғары жылдамдық;

- агрессивті, абразивті және тұтқыр сұйықтықтарды өлшеу мүмкіндігі;
- ортаның жоғары қысымына - 100 МПа дейін жұмыс қабілеттілігі.

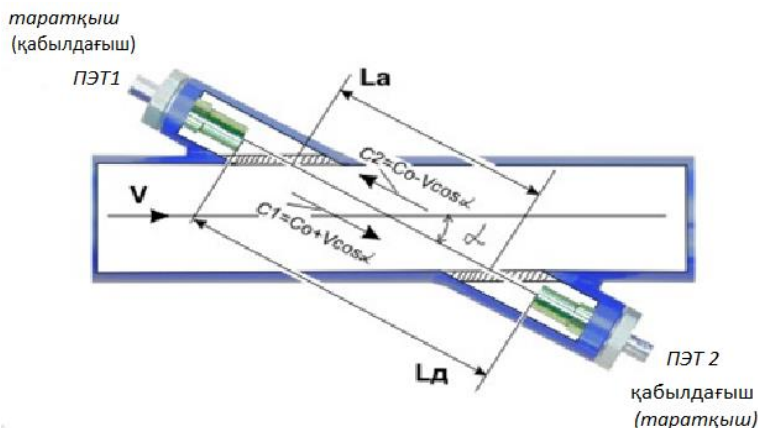
Кемшіліктерге жатқызу керек:

- өткізбейтін сұйықтықтар үшін шығын өлшегіштерді (көмір сутектер, аммиак, қышқылдар және т. б.) пайдаланудың мүмкін еместігі;
- сұйықтықтың электр өткізгіштігінің шамасынан қосымша қателіктің пайда болуы;
- шығын өлшегіштің құбырының қабырғаларында магнетиттің жиналу мүмкіндігі және суда темір тотықтары болған кезде қателіктің едәуір ұлғаюы.

3.7 Ультрадыбыстық шығын өлшегіштер

Ультрадыбыстық шығын өлшегіш - бұл стандартты шығын өлшегіш, оның жұмысының негізі ағын жылдамдығын өлшеу болып табылады, ал онда қозғалатын орта ағынының шығынын анықтау акустикалық заңдардың көмегімен жүзеге асырылады. Мұндай шығын өлшегіштер электр тогын өткізбейтін ортаның ағындарының шығынын өлшеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Ультрадыбыстық шығын өлшегіштің әрекет принципі 3.7 суретпен түсіндіріледі.



3.7 сурет – Ультрадыбыстық шығын өлшегіштің әрекет принципі

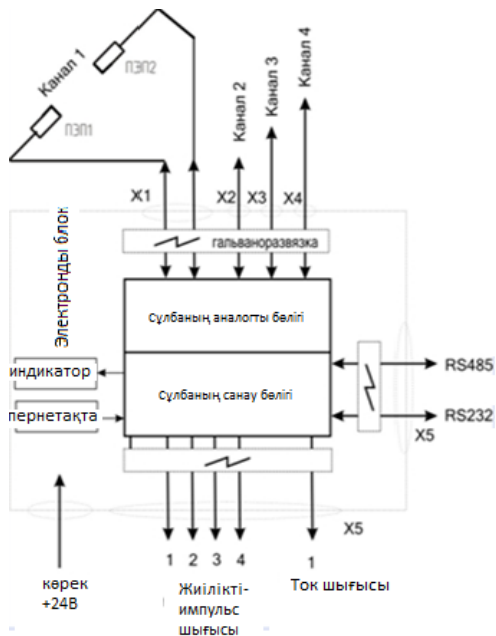
Көп жағдайда сәуле шығару және қабылдау пьезоэлементтерінің жазықтығы 3.7 суретте көрсетілгендей, құбыр осінің кейбір бұрышында орналасқан. Ағын бойынша және оған қарсы бағытталған ультрадыбыстың өтуі талап етілетін қашықтықты өту жылдамдығының мәнімен және өтуге жұмсалған уақытымен сипатталады.

Тербелістердің көздері мен қабылдағыштары ультрадыбыстық шығын өлшегіштердің бастапқы түрлендіргіштерінің негізгі элементтері. Кейбір

кристалдарды (пьезоэлементтерді) белгілі бір бағыттарда қысу және созу кезінде олардың беттерінде электрлік зарядтар пайда болады, және керісінше, егер осы беттерге электр потенциалдарының айырмасын қосылса, онда беттердің қайсысына кернеу көп болуына байланысты пьезоэлемент созылады немесе қысылады — кері пьезоэффект.

Айнымалы электр кернеулерін бірдей жиіліктердегі акустикалық (механикалық) тербелістерге түрлендіретін сәулелендіргіштердің жұмысы осы эффектіде негізделген. Акустикалық тербелістерді айнымалы электр кернеулеріне түрлендіретін қабылдағыштар жұмысы тура пьезоэффектіде негізделген.

Ультрадыбыстық шығын өлшегіштің құрылымдық сұлбасы 3.8 суретте көрсетілген. Ультрадыбыстық шығын өлшегіштің электрондық блогы ылғалдан қорғалған пластмасса корпусында қабырғада орнатылатындай жасалған. Ультрадыбыстық шығын өлшегіштің электрондық сұлбасы бір-бірімен барлық функционалдық элементтердің көп сатылы гальваникалық айрығы (>1000В) принципі бойынша орындалған. Мұндай принцип пайдаланудың нақты және қатаң жағдайларында аспаптың барынша бөгетерден қорғалуы мен сенімділігін қамтамасыз етеді. Аспаптың электрондық сұлбасында 500 000 сағаттан кем емес жұмыс істеу уақыты бар сенімді көректену көздері қолданылған.



3.8 сурет – Ультрадыбыстық шығын өлшегіштің құрылымдық сұлбасы

1 және 2 ПЭТ(пьезоэлектрліктүрлендіргіш), қабылдағыш-сәулелену режимінде кезекпен жұмыс істейтін ҚР-50 жоғары жиілікті кәбілімен ЭБ-мен (электронды блок) байланысты; ЭБ сәулелену режимінде жұмыс істейтін пьезотүрлендіргішке қозғағыш импульстерді жіберуді және қабылдағыш режимінде жұмыс істейтін пьезотүрлендіргіштен әлсіз сигналдарды қабылдауды (күшейтуді және детектеуді) қамтамасыз етеді.

Құбырда сұйықтықтың қозғалысы кезінде ультрадыбыстық толқынның бұзылуы пайда болады, ол ультрадыбыстық сигналдың таралу уақытының өзгеруіне әкеледі: сұйықтық ағыны бойынша (ПЭТ2 – ден ПЭТ1-ге) өседі. Ағын бойынша және оған қарсы бағытта сұйықтық арқылы УДС-тің (ультрадыбыстық сигнал) өту уақытарының айырмашылығы ағынның V_u жылдамдығына, демек, Q көлемді шығынға пропорционалды. Пьезотүрлендіргіштерден алынған сигналдар бойынша: ПЭТ1-ден ПЭТ2-ге дейін сигналдың өту уақыты, шығын, сұйықтықтың жинақталған көлемі, және шығынға пропорционалды шығыс сигналының жиілігінің мәні есептеледі. Шығынға, көлемге және уақытқа пропорционалды осылайша есептелген параметрлер көрсетілуі үшін мәтіндік дисплейге беріледі.

3.7.1 Акустикалық шығын өлшегіштердің түрлері.

Акустикалық каналдардың саны бойынша ультрадыбыстық шығын өлшегіштер бір сәулелі немесе бір каналды, екі сәулелі немесе екі каналды, және көп сәулелі немесе көп каналды болып бөлінеді. Бір сәулелі каналдарда тек екі пьезоэлемент болады, олар кезекпен сәуле шығару және қабылдау функцияларын орындайды.

Олар екі түрге бөлінеді: қозғалатын ортамен акустикалық тербелістерді жылжытуға негізделген шығын өлшегіштер және кейін пайда болған Доплер әсеріне негізделген шығын өлшегіштер.

Акустикалық тербелістердің ағын бойынша және оған қарсы өту уақыттар айырмашылығын өлшеуде негізделген шығын өлшегіштер көп тараған болды.

Акустикалық тербелістері ағынға перпендикуляр бағытталатын және осы тербелістердің бастапқы бағыттан ауытқу дәрежесі өлшенетін ультрадыбыстық шығын өлшегіштер айтарлықтай сирек кездеседі.

Доплердің құбылысына негізделген ультрадыбыстық шығын өлшегіштер жергілікті жылдамдықты өлшеуге арналған, бірақ олар сондай-ақ шығындарды өлшеуге де қолданылады. Олардың өлшеу сұлбалары қарапайым.

Ультрадыбыстық шығын өлшегіштердің аталған үш түрлерімен қатар акустикалық тербелістер жиіліктерінің дыбыстық диапазонында жұмыс істейтін ұзын толқынды атауына ие болған акустикалық шығын өлшегіштер бар.

Ультрадыбыстық шығын өлшегіштердің артықшылықтары:

- төмен құны;
- көлденең қимада қозғалатын және қозғалмайтын бөліктері жоқ;

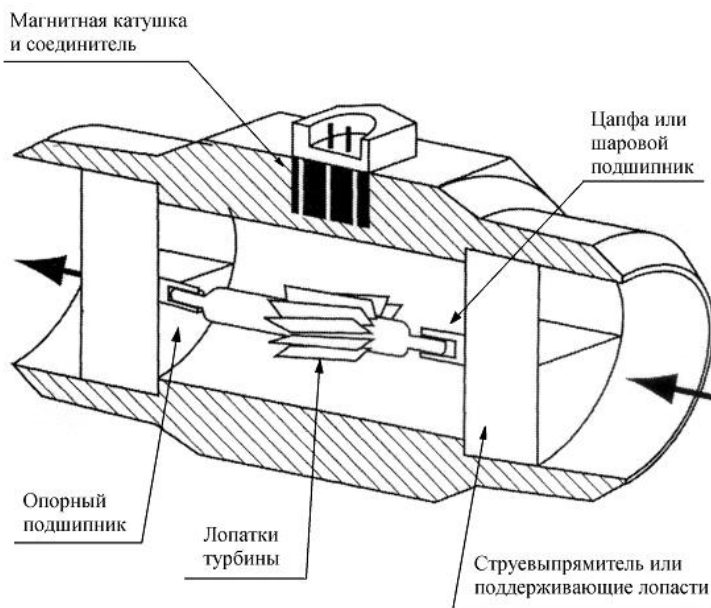
- орташа динамикалық өлшеу диапазоны;
- үлкен диаметрлі құбырларға монтаждау мүмкіндігі;

Кемшіліктері:

- ультрадыбысты шағылыстыратын және жұтатын тұнбаларға өлшеудің сезімталдығы;
- дірілге сезімталдығы;
- бір сәулелі шығын өлшегіштер үшін ағынның ауытқуына сезімталдығы.

3.8 Тахометриялық шығын өлшегіштер

Тахометриялық шығын өлшегіштер су, газ немесе бу ағындағы турбинаның немесе қанатшаның айналым санын, айналу жылдамдығын өлшейді. Аспабында қанатша немесе турбина орнатылғанына байланысты оның әрекет принципі өзгермейді; айырмашылық келесіде - қанатшаның айналу осі ағынның қозғалуына перпендикуляр, ал турбина сұйықтық немесе газ ағынына параллель болады (3.9 сурет).



3.9 сурет - Тахометрлік шығын өлшегіштің жұмыс принципі

Тахометриялық шығын өлшегіштердің артықшылықтары:

- жоғары емес құны;
- жұмыс істеуге қуат көзі қажет емес.

Кемшіліктері:

- шығын өлшегіш қимасындағы механикалық кедергілер;
- шағын динамикалық диапазон;
- өлшеудің тұрақсыздығы;
- сенімділік деңгейі төмен;
- сенімділік деңгейі төмен;
- судағы қоспалар мен бөгде заттар өлшеу нәтижелеріне әсер етеді;
- қысқа пайдалану мерзімі.

3.9 Жылулық шығын өлшегіштер

Шығын өлшегіштердің әрекет ету принципі зат ағынын қыздыруға және жылытқышқа дейінгі, сонымен бірге, одан кейінгі t температураларының айырмашылығын өлшеуге (*калориметриялық шығын өлшегіштер*) немесе ағынға орналастырылған қыздырылған дененің t температурасын өлшеуге (*термоанемометриялық шығын өлшегіштер*) негізделген (3.10 сурет). Термоанемометриялық шығын өлшегіштер технологиялық өлшемдерде өздігінен қолданылмайды.

Массалық шығын:

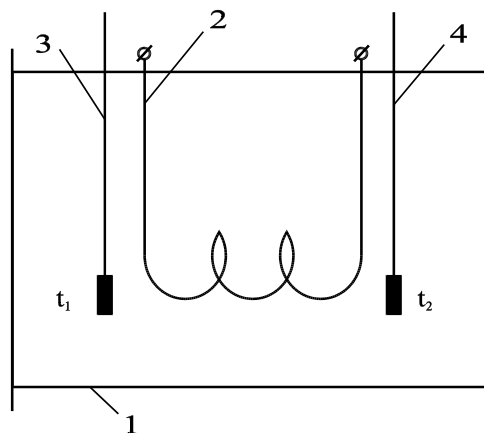
$$G = \frac{N}{k C_p \sigma t}, \quad (3.8)$$

мұндағы G - массалық шығын;

N - жылытқыштың қуаты;

k - құбырдың қимасы бойынша t температураның таралуының әркелкілігіне түзету көбейткіші;

$$G_p - t = \frac{t_1 + t_2}{2} \text{ кезіндегі заттың жылулық сыйымдылығы.}$$



3.10 сурет – Жылулық шығын өлшегіштің сұлбасы

3.10 суреттегі белгілеулер: 1 – құбыр; 2 - ағын жылытқышы; 3,4 – термотүрлендіргіштер (термопара, термокедергі).

G шығынының өлшеуі екі тәсілмен орындалуы мүмкін:

1) берілген t^0 тұрақты температуралар айырмасын қамтамасыз ететін N қуатының мәні бойынша;

2) тұрақты N қуаты кезіндегі t^0 температуралар айырмасы бойынша.

Бірінші тәсіл бойынша шығынды жылытқыш тізбегіндегі ваттметрдің көрсетулері бойынша анықтайды.

Екінші тәсіл бойынша жылытқышқа тұрақты қуат жіберілгенде, t^0 температуралар айырмасын өлшейтін аспап бойынша шығынды анықтайды. Бұл тәсілдің кемшілігі - шкаланың гиперболалық сипаттамасы, яғни, шығын өсуі кезінде сезімталдықтың төмендеуі.

Калориметриялық шығын өлшегіштердің дәлдік кластары 0,5-1. Олардың артықшылығы: күй параметрлерін (қысымды, t , тығыздықты) өлшемей-ақ, таза газдардың аз шығындарын өлшеуге қолданылады.

3.10 Кориолис массалық шығын өлшегіш

Планеталардың шығыс бағытына айналуына байланысты жер бетінде қозғалатын барлық денелер жағына қарай ауытқуға беталысы бар екенін бірінші француз инженері Кориолис байқады. Солтүстік жарты шарда ауытқу қозғалыс бағытына қатысты оң жаққа; оңтүстікке – сол жаққа қарай орындалады. Бұл ауытқу тікелей мұхит төгілуіне, сондай-ақ, бүкіл планетадағы ауа-райына әсер етеді.

Алғашқы кориолисті массалық шығын өлшегіштер 1970-ші жылдары құрастырылды. Бұл шығын өлшегіштер сұйықтықтың айналмалы қозғалысын жасанды түрде орнатып, массалық шығынды өлшеп, нәтижелік айналмалы моментті тіркейді.

Қазіргі уақытта автоматтандыру саласындағы әлемдік тенденцияларға сәйкес болатын мұнайды есепке алудың автоматтандырылған тораптарының жаңа буындары қолданылуда. Тауар-коммерциялық есеп айырысу үшін қолданыстағы нормативтік құжаттарға сәйкес қабылдау-тапсыру операциялары масса бірлігімен жүзеге асырылады. Коммерциялық мұнайды есепке алу тораптарында бұрында шығынды өлшеудің көлемдік принципі пайдаланған, массалық шығынды өлшеу әдісі жанама болып табылады, бұл қосымша өлшеу құралдарын пайдалануға әкеледі, соның салдарынан қосымша қателіктер туындайды.

Көлемдік-массалық әдісті қолданған кезде өнімнің көлемі (V) мен тығыздығын (ρ) бірдей жағдайларда өлшейді, содан кейін өнімнің салмағын анықтайды:

$$M = V\rho \quad (3.9)$$

Динамикалық режимде өнімді есепке алу оны дайындау және айдау процесінде жүргізіледі, бұл есепке алу жүйесін дамытудағы перспективалы бағыт болып табылады.

3.10.1 Кориолис массалық шығын өлшегіштің құрылымы мен әрекет принципі.

Кориолис массалық шығын өлшегіштің әрекет принципі: түтіктер тербелмелі қозғалыстарды жасаған кезде жүйеде қосымша инерция күші – Кориолис күші пайда болады. Осы күштің әсерінен түтіктер иіле бастайды, олардың иілуін датчиктер белгілейді.

Массалық шығындарды анықтау үшін теңдеудің түрі келесі:

$$M = S_{kt} \cdot \frac{A_c}{A_e} \cdot \frac{1}{f_V}, \quad (3.10)$$

мұндағы M – массалық шығын;

A_c – Кориолис күш әсерінен трубкалардың тербелістер амплитудасы;

A_e – еріксіз тербелістер амплитудасы,

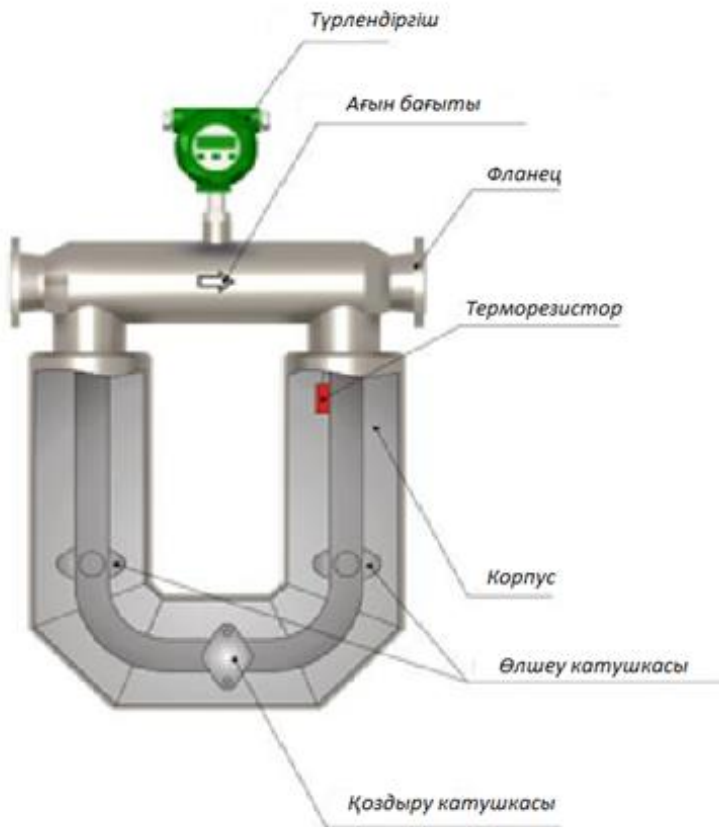
$\frac{A_c}{A_e}$ – фаза,

S_{kt} – 20°C болғанда аспап тұрақтысы;

f_V – еріксіз тербелістер жиілігі.

Кориолисті массалық шығын өлшегіш келесі бөліктерден тұрады (3.11 сурет):

- шығын өлшеу түтігі;
- қозу катушка және магнит;
- өлшеу катушкалары (электромагниттік жылдамдық детекторлары);
- терморезистор;
- технологиялық қосылыс (фланец);
- түрлендіргіш;
- корпус.



3.11 Сурет- Кориолисті шығын өлшегіштің жалпы түрі

Өлшенетін массаның сенсоры арқылы өту кезінде Кориолис эффектісінің нәтижесінде жылдамдықтың электромагниттік детекторлары фазалық ығысты өлшейді (сурет 3.12). Сигналдар арасындағы уақыт

айырмашылығы ΔT микросекундамен өлшенеді және M массалық шығынға тікелей пропорционалды:

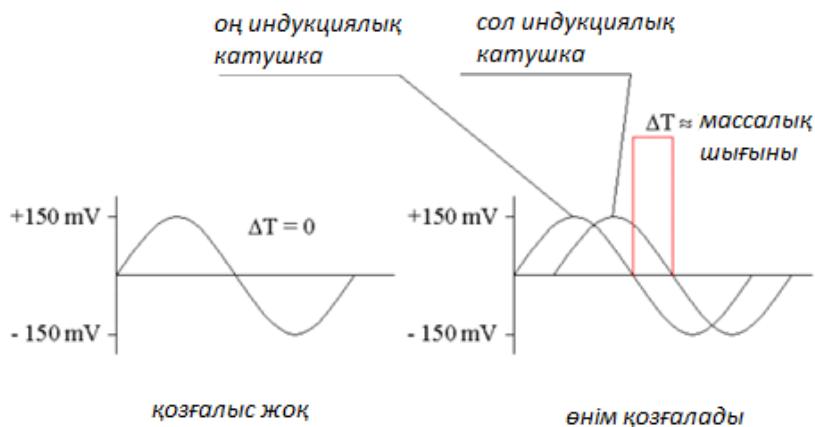
$$M=f(\Delta T). \quad (3.11)$$

ΔT неғұрлым көп болса, соғұрлым массалық шығын көп.

Шығын болмаған кезде детекторлардағы синустік сигналдар бір фазада болады (3.12 сурет).

Детекторлар бұл сигналды аналогты сигналына немесе жиілік-импульстік шығыс сигналына түрлендіреді.

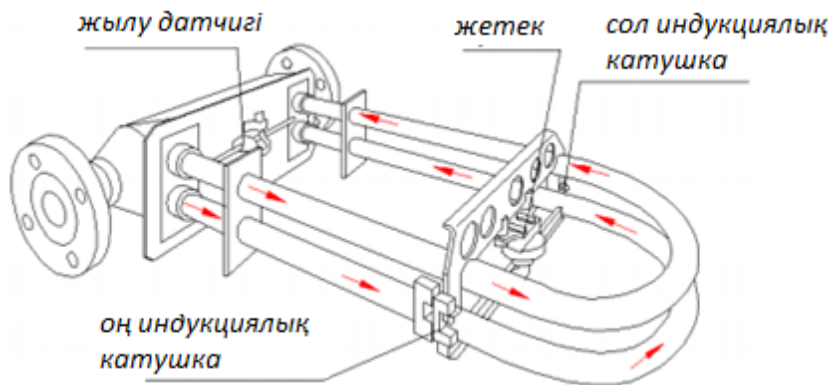
Түтік иілген немесе тік болуы мүмкін. Тігінен орнатылған кезде кейбір конструкциялар өздігінен толтырылуы мүмкін. Шығын өлшегіш екі параллель түтікшелерден тұратын кезде, кірістегі ағын екі ағынға бөлінеді және шығыста бір-біріне қосылады.



3.12 Сурет – Электромагниттік детекторлардың сигналдары

Бір түтікшені (немесе тізбектеп жалғаған екі түтікшені) пайдаланған кезде шығын өлшегіштегі ағын бөлінбейді.

Әр жағдайда, жетек түтіктердің вибрациялауына әкеледі. Электромагниттік жетек бір түтікшемен жалғанған катушкадан және басқа түтікшемен жалғанған магниттен тұрады (3.13 сурет). Катушкаға айнымалы ток беріледі, ол магнитті мезгіл-мезгіл не тартылуына, не итерілуіне әкеледі.



3.13 сурет – Кориолисті шығын өлшегіштің құрылысы

Құбырдың тербелмелі учаскесі бар кориолисті шығын өлшегіш сенсор мен сигналдың электронды түрлендіргішінен (датчиктен) тұрады. Сенсордың ұштары қозғалыссыз бекітілген бір немесе екі өлшеу түтіктері (әдетте: U -тәрізді) болады (3.13 сурет). Сенсор ортасында орналасқан электромагнит әсерінен түтікше өзінің резонанстық жиілігімен тербеліс жасайды (амплитудасы шамамен 1 мм, жиілігі секундына 80 цикл). Осының арқасында түтікшеде ағатын сұйықтық қозғалыстың тік құраушысына ие болады. Циклдің бірінші жартысы кезінде түтікшенің жоғары қарай қозғалысында, түтікшенің бірінші жартысы арқылы өтетін сұйықтық жоғары қозғалысқа қарсы тұрады және түтікшеге жоғарыдан төменге қысым көрсетеді. Түтіктің екінші (шығыс) жартысында қозғалатын сұйықтық түтікке төменнен жоғарыға қарай қысым көрсете отырып, қозғалыстың тік құрамдас бөлігінің азаюына кедергі жасайды. Осылайша, жүйеде қосымша инерция күші – Кориолис күші пайда болады және осы күштің әсерінен түтіктер иіле бастайды (бұрылады). Олардың иілуі датчиктермен (жылдамдық детекторларымен) тіркеледі.

Бұрыштық жылдамдық бағыты өзгергенде, бұл күштер бағытын өзгертеді және тармақ қарама-қарсы жаққа жылжиды. Бұл ығысу шамасы құбыр арқылы сұйықтықтың массалық шығынына пропорционалды. Ығысулар жылдамдықтың электромагниттік детекторлары көмегімен тіркеледі. Олардың шығу сигналы импульс болып табылады, оның ұзақтығы сұйықтықтар үшін де, газдар үшін де пропорционалды, шығын өлшеуді жоғары дәлдікпен береді (сұйықтықтар үшін 0,1% және газ үшін 0,5%).

Кориолисті шығын өлшегіштер температура мен қысымның өзгеруіне сезімтал емес.

3.11 Үшінші тарауға бақылау сұрақтары

1. Көлемді есептегіштердің түрлері және жұмыс істеу принципі.
2. Көлемді есептегіштердің жұмыс істеу принципі, артықшылықтары мен кемшіліктері.
3. Жылдамдық есептегіштерінің әрекет принципі.
4. Қысымның ауыспалы ауытқу шығын өлшегіштерінің әрекет принципі.
5. Ағынмен айналып өтетін шығын өлшегіштері туралы айтып беріңіз.
6. Электрмагниттік шығын өлшеуіштердің жұмыс істеу принципі, артықшылықтары және кемшіліктері.
7. Тахометриялық шығын өлшегіштердің әрекет принципі, артықшылықтары және кемшіліктері.
8. Жылу шығын өлшегіштердің жұмыс істеу принципі, артықшылықтары және кемшіліктері.
9. Кориолисті массалық шығын өлшегіштің әрекет принципі, артықшылықтары және кемшіліктері.
10. Кориолис шығын өлшегішті қолданудың кейбір ерекшеліктері.

4 тарау. Деңгейді өлшеу

4.1 Жалпы мәліметтер

Сұйық немесе сусымалы дене болатын жұмыс ортамен технологиялық аппаратты толтырылу биіктігін *деңгей* деп аталады.

Деңгейді ұзындықтың бірліктерімен өлшейді (*мм, см, м*).

Деңгейді өлшеу құралдарын *деңгей өлшегіш* деп атайды.

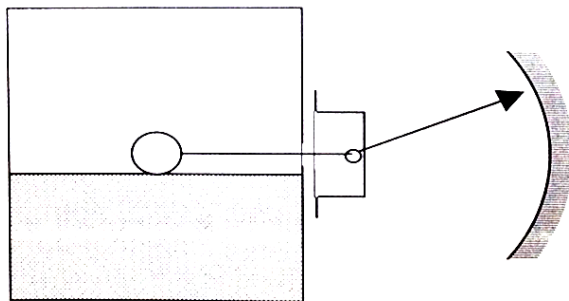
Өлшеу диапазонына байланысты деңгей өлшегіштерді *кең аралықты* және *тар аралықты* деп ажыратады. Кең аралықты (0,5-20м) деңгей өлшегіштер тауарды есепке алатын операцияларда қолданылады. Тар аралықты (0-100мм), (0-450мм) деңгей өлшегіштер әдетте автоматты реттеу жүйелерінде қолданылады.

Қазіргі уақытта деңгей өлшегіштерді *әрекет ету принципі бойынша* келесідей топтарға бөледі: визуалды, қалтқылы, буюктік, гидростатикалық, электрлік, ультрадыбыстық, радиоизотоптық деңгей өлшеу құралдары.

Бірінші топқа өлшегіш сызғыштар, рейкалар, цилиндрлік шынысы бар рулеткалар, және деңгей өлшегіш шынылар жатады.

4.2 Қалтқылы деңгей өлшегіштер

Деңгей өлшегіштердің ішіндегі *қалтқылы деңгей өлшегіштер* ең қарапайымы. Қалтқылы деңгей өлшегіштердің тар және кең диапазонды түрлері болады. Тар аралықты деңгей өлшегіштері тот бастпайтын болаттан жасалған диаметрі 80-200 мм болатын шар тәрізді қалтқыдан тұрады (4.1 сурет).



4.1 сурет – Қалтқылы фланцты деңгей өлшегіштің сұлбасы

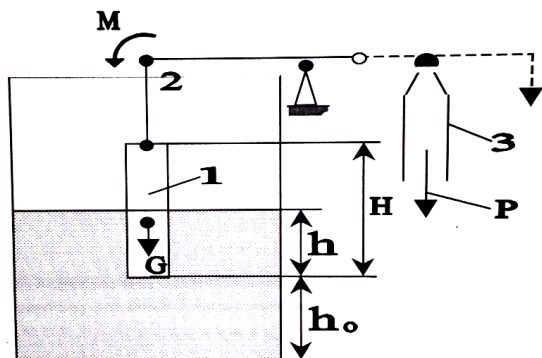
Қалтқы сұйықтың бетінде қалқып жүреді және штанга арқылы өлшеуіш аспаптың тілшесімен немесе бұрышытық орын ауыстыруды унифицирленген электрлік немесе пневматикалық сигналдарға

түрлендіргішімен байланысады. Өлшеу аралығы: минималдысы ± 10 мм, максималдысы ± 200 мм.

Дәлдік класы 1,5.

4.3 Букеттік деңгей өлшегіштер

Букеттік деңгей өлшегіштер Мемлекеттік аспаптар жүйесінің аспаптар номенклатурасы қатарына кіреді. Букеттік деңгей өлшегіштердің жұмысы Архимед заңымен сипатталатын физикалық құбылыста негізделген. Тығыздығы сұйықтың тығыздығынан үлкен не тең болатын материалдан жасалатын *цилиндрлік букет* осындай деңгей өлшегіштердің *сезімтал элементі* болып табылады. Букет тігінен орнатылған және бір бөлігі сұйықтыққа батырылған. Аппараттағы сұйықтың деңгейі өзгерген сайын сұйықтықтағы букеттің массасы деңгейге пропорционалды түрде өзгереді. Букеттің салмағының өлшеу ақпараттың сигналына түрленуі унифицирленген «күш – қысым» және «күш – ток» түрлендіргіштерінің көмегімен жүзеге асады, сондықтан оларды пневматикалық және электрлік букеттік деңгей өлшегіштер деп ажыратады (4.2 сурет).



1 – букет; 2 – рычаг; 3 – сопло; h_0 – сұйықтықтың алғашқы деңгейі;
M – айнымалы момент.

4.2 сурет – Букеттік деңгей өлшегіштің сұлбасы

Сұйықтықтың деңгейі h биіктікке өскен кезде букет сұйықтыққа батырылады, Архимед заңы бойынша букеттің G салмағы азаяды, демек айнымалы M моментіде азаяды және 2 рычаг O нүктесінің айналасында сағат тілінің бағыты бойынша айналады. Жапқышпен 3 соплоның саңылауы жабыла бастайды, осыдан пневматикалық беріліс келесіге тең:

$$P_{шығ} = k \cdot \Delta G, \quad (4.1)$$

мұндағы ΔG – буюктің салмағының өзгеруі;
 k – деңгей өлшегіштің беріліс коэффициенті.

Деңгей өлшегішті салмақтық әдіспен градуирлеуге болады.

$P_{шығ}$ өзгеру диапазоны 0,02 МПа-дан 0,1 МПа-ға дейін. Жұмыс ортаның температурасы $(-40 \div +400)^{\circ}\text{C}$ тең. Жұмыс қысым - 16 МПа. Дәлдік кластары: 1,0 –1,5.

4.4 Гидростатикалық деңгейді өлшеу құралдары

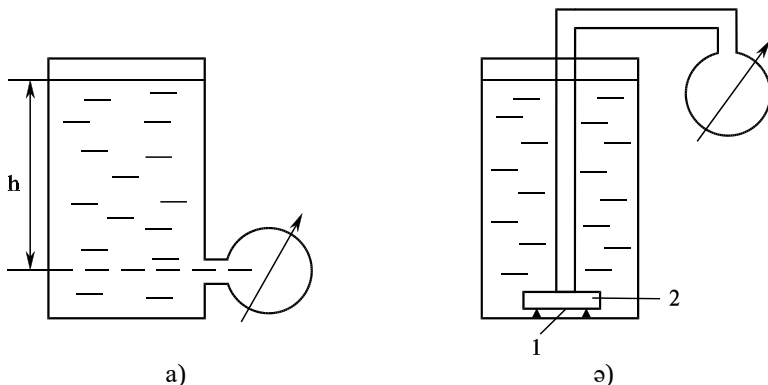
Гидростатикалық деңгей өлшегіштермен өлшеу ρ тұрақты тығыздықтағы сұйықтықтың h биіктігімен жасалатын P гидростатикалық қысымды келесі теңдік бойынша өлшеуге алып келеді:

$$P = \rho gh.$$

Гидростатикалық қысымды өлшеу келесілермен жүзеге асырылады:

- 1) деңгейдің төменгі шекті мәніне сәйкес келетін биіктікте қосылған *манометрмен*;
- 2) деңгейдің төменгі шекті мәніне және сұйықтықтан жоғары орналасқан газдық кеңістігіне сәйкес келетін биіктіктегі резервуарға қосылатын *дифманометрмен*.

4.4.1 Деңгейді манометрмен өлшеу сұлбалары.



4.3 сурет – Деңгейді манометрмен өлшеу сұлбалары

4.3а) суретте манометрдің кезкелген түрі қолданылуы мүмкін.

4.3б) суретте саңылауы жіңішке эластикалық 1 мембранамен жабылған 2 қоңыраудағы ауаның қысымын өлшейтін манометр қолданылады.

Көрсетілген сұлбалардағы өлшеудің қателіктері манометрдің дәлдік класымен және сұйықтықтың тығыздығының өзгеруімен анықталады.

Атмосфералық қысымда жұмыс істейтін резервуарларда P қысымды манометрлермен өлшеу орынды.

Қысымдағы технологиялық аппараттарда сұйықтық деңгейін өлшеу үшін дифманометрлер кеңінен қолданылады. Олардың көмегімен ашық резервуарлардағы сұйықтық деңгейін, фазаларды бөлу деңгейлері мен сұйықтықтарды бөлу деңгейлерін өлшеуге болады.

4.5 Деңгейді өлшеудің электрлік құралдары

Сезімтал элементінің түріне байланысты оларды келесідей бөледі:

- сыйымдылықты шығын өлшегіштер;
- кондуктометрлік шығын өлшегіштер.

4.5.1 Сыйымдылықты деңгей өлшегіштер.

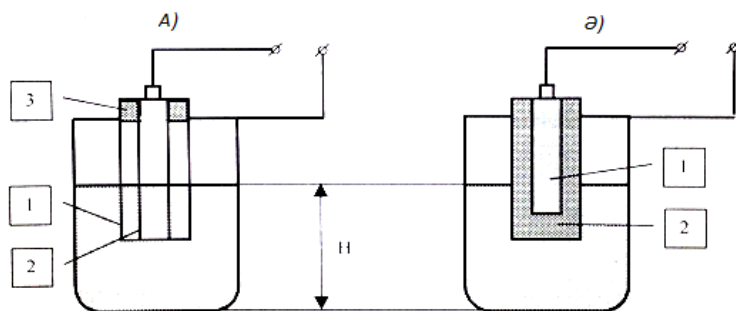
Бұл деңгей өлшегіштердің әрекет принципі бірінші ретті өлшеу түрлендіргіштің сезімтал элементінің электрлік сыйымдылығының сұйықтың деңгейіне тәуелділігінде негізделген.

Сезімтал элементтер құрылымдық жағынан коаксилді орналасқан цилиндрлік электродтар түрінде орындалады.

Олардың құрылымы сұйықтықтың физика-химиялық қасиеттеріне тәуелді болады:

1) электрөткізгіштігі 10^{-6} См/м-тен төмен болатын электр өткізбейтін сұйықтықтарға (диэлектриктерге) сұлбасы 4.4 А) суретте көрсетілген деңгей өлшегіштер қолданылады;

2) электр өткізетін (меншікті электрөткізгіштігі 10^{-4} См/м-тен көп болатын) сұйықтықтардың деңгейін өлшеу үшін басқа сезімтал элементтері бар деңгей өлшегіштер қолданылады (4.4 Б) сурет).



4.4 сурет – Сыйымдылықты деңгей өлшегіштердің сұлбалары

4.4 А) суретіндегі белгілеулер: 1, 2 – коаксиалды орналасқан электродтар (цилиндрлік конденсаторлар); 3 – оқшаулағыш.

h биіктікке дейінгі электродтар арасындағы кеңістік сұйықтықпен толтырылған, ал $(H-h)$ кеңістік – бу-газ қоспасымен толтырылады. 3 оқшаулағыш электродтардың өзара орналасуын фиксациялауға қолданылады.

4.4 Ә) суретіндегі белгіленулер: 1 – металды электрод; 2 – фторопласт оқшауламалар.

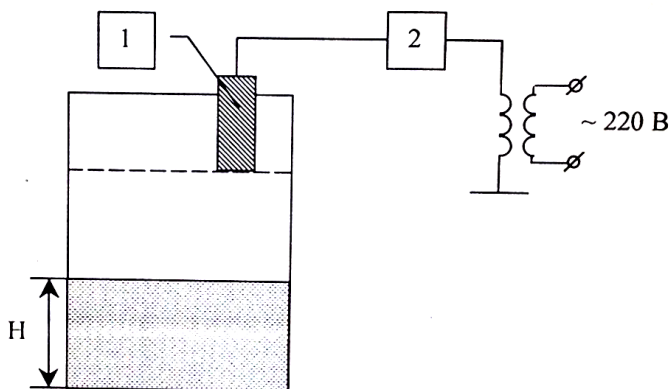
Резервуардың қабырғасы металдан жасалған болса, ол екінші электрод ретінде қолданылады, ал резервуар қабырғасы диэлектриктен жасалған болса – арнайы метал электроды қолданылады. Осы сезімтал элементтердің электрлік сыйымдылығын өлшеу апаратының сигналына түрлендіру көпірлік, резонансты немесе импульсты әдістерімен жүзеге асырылады.

Сыйымдылық деңгей өлшегіштердің өлшеу диапазондары: минималды $0 \div 0,4$ м, максималды – $0 \div 20$ м. Жұмыс қысымы $2,5 \div 10$ МПа. Дәлдік кластары – 0,5; 1,0; 2,5.

Сұсымалы орталарға арналған сыйымдылық деңгей өлшегіштері бар. Өлшеудің жоғарғы шегі – $4 \div 20$ м. Дәлдік кластары – 2,5.

Кондуктометрлік деңгей сигнализаторы.

Кондуктометрлік деңгей сигнализаторлары меншікті өткізгіштігі 10^{-3} См/м мәнінен үлкен болатын электрөткізгіш сұйықтықтар мен және сусымалы орталардың деңгейін хабарлауға арналған (4.5 сурет).



4.5 сурет – Жоғарғы шекті сұйықтық деңгейін сигнализатордың сұлбасы

Сұлбада белгіленгендер: 1 – электрод; 2 – реле.

Сұйықтықтың деңгейі h биіктікке жеткенде технологиялық аппараттың корпусы мен 1 электрод арасындағы тізбек тұйықталады. Сонда 2 реле әсерге келіп, сұлбаның сигнализациясы қосылады.

Электродтар арнайы маркалы болаттан немесе көмірден жасалады, және көмірлі электродтар тек сұйық ортаның деңгейін өлшеуге қолданылады.

4.6 Деңгейді өлшеудің акустикалық құралдары

Акустикалық деңгей өлшегіштердің құрастырылуының әртүрлі принциптері бар. Ең көп тарағаны - *локация принципі*: сәулелегіштен екі ортаның шекарасына дейін және кері қарай қашықтықты ультрадыбыс тербелістердің өту уақыты бойынша деңгейді өлшеу.

Екі ортаның шекарасының орнатылуы газ арқылы жүзеге асырылса деңгей өлшегіштер *акустикалық деңгей өлшегіштер* деп, ал екі ортаның шекарасының орнатылуы жұмыс ортаның қабаты арқылы жүзеге асырылса *ультрадыбыстық деңгей өлшегіштер* деп аталады.

Акустикалық деңгей өлшегіштердің *артықшылығы* – олардың өлшеу дәлдігі, жұмыс ортаның құрамына және физика-химиялық қасиеттеріне тәуелді емес болатыны. *Кемшілігі* – өлшеу дәлдігі температураға, қысымға және газдық құрамына тәуелділігі.

Әдетте акустикалық деңгей өлшегіштер бастапқы, аралық, ал кей кездерде беріліс түрлендіргіштердің комбинациясы болып табылады. Сондықтан қатан айтқанда акустикалық деңгей өлшегіштерді акустикалық өлшегіш түрлендіргіштері бар өлшеу жүйенің бір бөлігі ретінде қарастырған жөн.

Сұйық ортадағы акустикалық деңгей өлшегіштері бастапқы және аралық түрлендіргіштерден тұрады. Бастапқы түрлендіргіш ультрадыбыстық тербелістерінің көзі және қабылдауыш функцияларын бір уақытта орындайтын пьезоэлемент болып табылады. Аралық түрлендіргіште өлшеулер барысында генератор белгілі бір жиілікпен пьезоэлементке берілетін және ультрадыбыстық импульске түрленетін электрлік импульсті тудырады. Бұл импульстер акустикалық трактының бойымен таралады, сұйықтық – газ шекарасында шағылады және оларды электрлік импульстерге түрлендіретін сол пьезоэлементпен қабылданады. Одан әрі импульстер сигналды уақыт бойынша шағылдыратын өлшеу сұлбасындағы аралық түрлендіргішіне беріледі. Бастапқы және аралық түрлендіргіштердің ара қашықтығы 25 м-ден көп болмайды. Деңгейді өлшеу аралығы: 0-1; 0-2; 0-3 м. Дәлдік класы 2,5. Бақыланатын ортаның температурасы 10-50°C, технологиялық аппараттағы қысым 4 МПа-ға дейін болады.

Сусымалы орталар деңгейін акустикалық өлшегіштердің әрекет ету принципі және құрылысы бойынша сұйықтық орталардың деңгейін акустикалық өлшегіштеріне ұсқас болып келеді. Сусымалы ортадалардың деңгейін өлшегіштер Мемлекеттік аспаптар жүйесінің номенклатурасына кіреді және унифицирленген тоқтық сигналына ие болады. Олар бір нүктелі

және көп нүктелі болуы мүмкін. Көпнүктелі деңгей өлшегіштер коммутатор арқылы аралық түрлендіргішке қосылатын және технологиялық аппаратқа жекелей орналастырылатын акустикалық типтегі бірнеше (30-ға дейін) бастапқы түрлендіргіштерден тұрады. Бақыланатын орта – диаметрі $2\div 200$ мм болатын түйіршіктер. Өлшеу аралығы: минималды – $0\div 2,5$ м; максималды – $0\div 30$ м. Дәлдік кластары - $1,0\div 1,5$.

4.7 Төртінші тарауға бақылау сұрақтары

1. Деңгей өлшегіштердің классификациясы.
2. Қалтқылы деңгей өлшегішті сипаттап беріңіз.
3. Букеттік деңгей өлшегіштің сұлбасы мен әрекет принципі.
4. Манометрмен өлшеулерді орындау сұлбаларын келтіріңіз.
5. Сыйымдылық деңгей өлшегіштің әрекет принципі.
6. Кондуктометрлік деңгей сигнализатордың әрекет принципі.
7. Акустикалық деңгей өлшегіштердің әрекет принципі, артықшылықтары және кемшіліктері.
8. Ультрадыбысты деңгей өлшегіштің әрекет принципі.
9. Дифманометрдің әрекет принципі.
10. Бірнүктелі және көпнүктелі деңгей өлшегіштері.

5 тарау. Сұйықтықтар мен газдардың физика – химиялық қасиеттерін өлшеу

Автоматты бақылауы химия-технологиялық процестер арқылы жүзеге асырылатын *физика-химиялық қасиеттер* қатарына тығыздық, тұтқырлық, қаныққан будың қысымы, жану жылуы жатады.

Сұйықтықтар мен газдардың тығыздығын өлшеу химия-технологиялық процестерді басқару және шикізаттың, отынның, реагенттердің мөлшерін есепке алу операцияларын орындау үшін жүзеге асырылады.

Мұнай майларды, консистентті жағармайларды, полимерлерді, ерітінділерді өндірумен байланысты химия-технологиялық процестердің өнімінің сапасын *тұтқырлық* анықтайды.

Қаныққан будың қысымы біркомпонентті сұйық заттар үшін олардың тазалығының сипаттамасы ретінде қолданылады; мұнай өнімдері үшін олардың булануға бейімділігін және отындық двигателдер жүйелеріндегі бу тығындарының пайда болуын сипаттайды.

Қазіргі таңда отын-энергетикалық ресурстарды үнемдеу бойынша өткізілетін іс-шараларға байланысты маңызды болатын сұйықтық және газ тәрізді отындардың жылулық құндылығын *жану жылуы* анықтайды.

5.1 Тығыздықты өлшеу құралдары

Заттың m массасының оның алатын V көлеміне қатынасымен анықталатын ρ шамасы *зат тығыздығы* болып табылады:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (5.1)$$

Температура төмендеген сайын сұйықтықтар мен газдардың тығыздығы төмендейді. Газдардың тығыздығы қысымның өсуімен артады. Сұйықтықтардың тығыздығы қысымға тәуелді болмайды.

Тығыздықты өлшеу құралдары *тығыздық өлшеуіштер* немесе *денсиметрлер* (*денситометрлер*) деп аталады (латынның *densus* – тығыз),

Тығыздық өлшеуіштер түрлері: салмақтық, қалтқылық, гидроаэростатикалық, гидрогаздинамикалық, радиоизотопты, акустикалық, вибрациялық және т.б. Сұйықтықтар мен газдардың автоматты тығыздық өлшеуіштері кеңінен қолданылады.

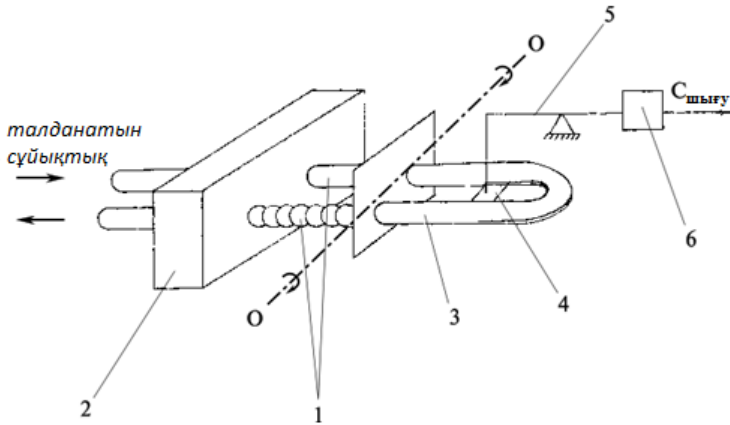
Салмақтық немесе пикнометрлік тығыздық өлшеуіштер.

Іс-әрекеті – құбырдағы немесе белгілі бір сыйымдылықтағы талданатын заттардың тұрақты көлемін үздіксіз өлшеу.

Тығыздық (грек тілінен *pyknos* – тығыз) меншікті салмақ арқылы келесідей анықталады:

$$\gamma = \rho g,$$

мұндағы ρ – заттың тығыздығы;
 g – еркін түсу үдеуі.



5.1 сурет – Салмақтық тығыздық өлшегіштің сұлбасы

5.1 суреттегі белгілеулер:

1 – сильфондар; 2 – қозғалмайтын келте құбырлар; 3 – V-тәрізді құбырша; 4 – күш; 5 – рычаг; 6 – түрлендіргіш; 7 – қарсы салмақ.

Тот баспайтын болаттан жасалған V-үлгілі түтік күш арқылы рычагпен байланысады (5.1 сурет). Сильфондардың болуы құбырдың $O-O$ осі бойынша айналуына мүмкіндік береді. Сұйықтардың тығыздығы өскен сайын сұйықтығы бар құбырша массасы өседі, ол рычаг арқылы механика-электрлік немесе механика-пневматикалық түрлендіргішке беріледі. Шығыс сигнал $C_{шығ}$ талданатын сұйықтық тығыздығының өзгеруіне пропорционал болады. Тығыздықтың таңдалған төменгі шегінде 6 құбырда пайда болатын күштер моменттерін теңестіру үшін 7 қарсы салмақ қолданылады.

Өлшеу диапазоны $0,5 \div 2,5 \text{ г/см}^3$. Дәлдік кластары: $1 \div 1,5$. Максималды жұмыс температурасы $t_{жұм}^0 = 100^0\text{C}$.

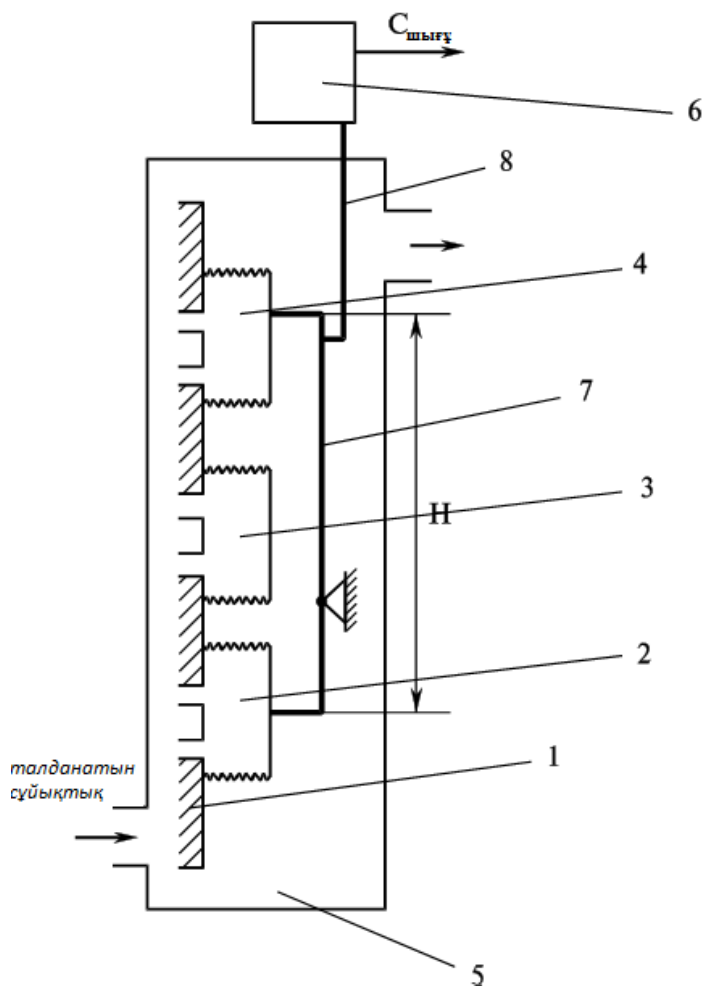
Гидро- және аэростатикалық тығыздық өлшегіштер.

Ис-әрекеті талданатын сұйықтық немесе газ бағанының P қысымның осы ортадағы ρ тығыздыққа тәуелділігіне негізделген:

$$P = \rho gh.$$

Егер $h = const$ деп алсақ, онда $P = k \cdot \rho$ және $P = \frac{p}{k}$.

Гидростатикалық тығыздық өлшегіштің сұлбасы 5.2 суретте көрсетілген.



5.2 сурет – Гидростатикалық тығыздық өлшегіштің сұлбасы

Сұлбадағы белгіленулер: 1 – тіректік плата; 2, 3, 4 – сифондар; 5 – камера; 6 – түрлендіргіш; 7 – өлшегіш рычаг; 8 – рычаг.

Талданатын сұйықтық 2 және 4 өлшегіш сиффондар орналасқан тіректік платадағы 5 камера арқылы үздіксіз айналады. Олардың арасындағы қашықтық $h=const$, сондықтан 2 сиффонға әсер ететін гидростатикалық қысым 4 сиффонға әсер ететін қысымнан үлкен болады. Барлық сиффондар қосымша сұйықтықтармен толтырылған. 3 сиффон температуралық компенсациялау үшін қызмет етеді және сұйықтық манометрлік термометр болып келеді. 2 және 4 сиффондардың гидростатикалық қысымдарының айырмасынан пайда болған күшейтулер айырымы 7 өлшегіш рычагта айналу моментін тудырады, ол 8 рычаг арқылы 6 түрлендіргіштің унифицирленген электрлік және пневматикалық сигналына беріледі.

Өлшеу аралығы - $0 \div 0,5 \text{ г/см}^3$. Дәлдік класы - 1. Сұйықтықтың максималды температурасы - 200°C .

5.2 Сұйықтықтың тұтқырлығын өлшеу құралдары

Ағынды денелердің (сұйықтықтар мен газдардың) бір бөліктен басқа бөлігіне орын ауыстыруына кедергі жасау қасиеті *тұтқырлық (ішкі үйкеліс)* деп аталады. Температура өскен сайын сұйықтықтың тұтқырлығы азаяды, ал газдардікі – артады. $P = 20 \text{ МПа}$ дейінгі динамикалық тұтқырлық қысымға тәуелді болмайды.

Тұтқырлықты өлшеу құралдары *вискозиметрлер* деп аталады. Қазіргі уақытта автоматтық, вискозиметрлер: капиллярлық, ротациялық, вибрациялық, денесі түсірілетін және т.б. жасалған.

Капиллярлы вискозиметрлер (ағу вискозиметрлері).

Механикалық вискозиметрлердің *іс-әрекеті* Пуазель заңымен сипатталатын сұйықтықтың капилляр арқылы ағып өтуіне негізделген:

$$Q = \frac{\pi d}{128 \eta l} (P_1 - P_2). \quad (5.3)$$

мұндағы Q – сұйықтықтың көлемдік шығыны;

d, l – капиллярдың ішкі диаметрі және ұзындығы;

P_1, P_2 – ағын бойынша капиллярға дейінгі және кейінгі қысым;

η - динамикалық тұтқырлық;

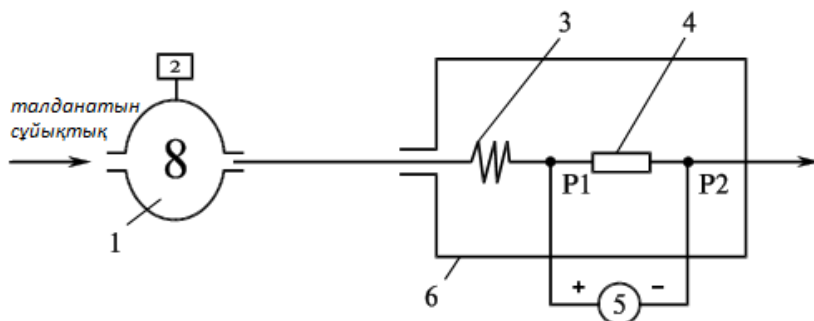
$Q=const$ болғанда

$$P_1 - P_2 = k \cdot \eta, \quad (5.4)$$

мұндағы $k = \frac{128 l Q}{\pi d}$ қабылданған шығын үшін тұрақты коэффициент.

Осыдан, динамикалық тұтқырлықты өлшеу үшін сұйықтың көлемдік шығыны тұрақты кезінде капиллярдағы қысымның құламын өлшеу жеткілікті.

Әрекет ету принципі капиллярдағы қысымның құламына негізделген капиллярлы вискозиметрлердің сұлбасы 5.3 суретте көрсетілген.



5.3 сурет – Капиллярлы вискозиметрдің сұлбасы

Сұлбадағы белгіленулер: 1 – дөңгелек тісті сорғы; 2 – синхронды қозғалтқыш; 3 – ирек түтік; 4 – капилляр; 5 – дифманометр; 6 – термостат.

Талданатын сұйықтық сорғыдан соң ирек түтікке келіп түседі, ал онда термостатты толтыратын майдың температурасына дейін қызады, содан соң өлшемі тұтқырлықты өлшеу шамасының диапазонына тәуелді таңдалынатын капиллярға келіп түседі.

Капиллярдағы қысымның құламы электрлік немесе пневматикалық унифицирленген шығыс сигналы бар дифманометрмен өлшенеді, бұл шығыс сигнал термостаттағы температурасы тұрақты 50⁰ немесе 100⁰С болатын талданатын сұйықтықтың динамикалық тұтқырлығына пропорционалды.

Өлшеу диапазоны: $(0 \div 2) \cdot 10^{-3}$ Па·с -дан $(0 \div 100) \cdot 10^{-3}$ Па·С -ға дейін.

Дәлдік кластары: 1,5; 2,5.

Ротациялық вискозиметрлер.

Бұл механикалық вискозиметрлердің әрекет принципі өзара орын ауыстырғанда өлшенетін ортаға жүктелген ротордың осінде (цилиндрде, дискіде) пайда болған айналу моментін өлшеуге негізделген.

Айналу моменті:

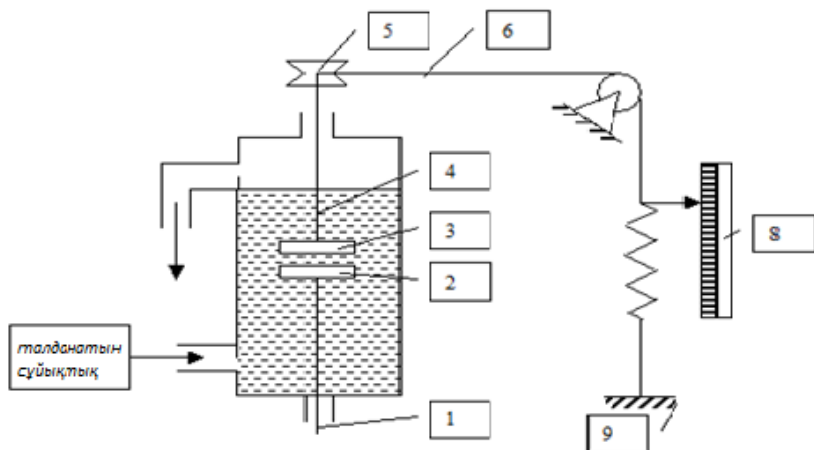
$$M = k \cdot \omega \cdot \eta, \quad (5.5)$$

мұндағы k – вискозиметрдің роторының құрылысына тәуелді тұрақты коэффициент;

ω – ротордың бұрыштық айналу жылдамдығы (тұрақты болуы мүмкін);

η – тұтқырлық.

Автоматты анализаторларда ротациялық вискозиметрлердің әр түрлі құрылыстағы айналмалы элемент ретінде цилиндр, диск, шар қолданылады.



5.4 сурет – Ротациялық вискозиметрдің сұлбасы

Сұлбадағы белгіленулер: 1 – синхронды қозғалтқыш; 2,3 – дискілер; 4 – білік; 5 – шкив; 6 – оралымды жіп; 7 – серіппе; 8 – шкала; 9 – түрлендіргіш.

1 синхронды қозғалтқыш 2 дискті айналдырады. 2 дискі арқылы пайда болатын айналу моменті сұйықтық арқылы 3 дискіге беріледі. 3 дискідегі айналмалы момент, сонымен бірге, дискімен бір 4 білікке орнатылған 5 шкивінде, динамикалық тұтқырлыққа пропорционал болады. Бұл момент 5 шкивке бекітіліген 6 оралымды жіпке байланған, 7 серіппенің серпімді деформациясының күшімен теңеседі. Серіппенің деформациясының мәнін 8 шкалада бақылауға болады. 9 түрлендіргіштің көмегімен серіппенің серпімді деформациясының күші біркелкі электрлік және пневматикалық сигналға түрленеді.

Өлшеудің кең диапазоны 0,01 – 1000 Па·с.

Дәлдік кластары: 1 – 2,5.

5.3 Бесінші тарауға бақылау сұрақтары

1. Келесі түсініктемелерге анықтама беріңіз: қаныққан бу қысымы, жану жылылығы, зат тығыздылығы.
2. Тығыздық өлшегіштердің классификациясы.
3. Салмақ тығыздық өлшегіштің сұлбасын келтіріңіз және оның әрекет принципін айтыңыз.
4. Гидростатикалық тығыздық өлшегіштер. Сұлбасы және әрекет принципі.
5. Сұйықтықтың тұтқырлығын өлшеу құралдарының классификациясы.
6. Капиллярлы вискозиметрдің сұлбасы және әрекет принципі.
7. Ротациялық вискозиметрдің сұлбасы және әрекет принципі.
8. Тығыздылық формуласын келтіріңіз және оның қ.ұрамдастырушыларын сипаттаңыз.
9. Пузель заңы және оны қолдану.
10. Ротациялық вискозиметрдің ротор осінде айналу моменті қалай анықталады?

6 тарау. Концентрацияны өлшеу

6.1 Жалпы мәліметтер

Талданатыні қоспаның физика-химиялық қасиеттері аддитивті деп есептелінеді, яғни компоненттердің физика-химиялық қасиеттері олардың үлесімен көрсетілген концентрациясына көбейтулердің қосындысы ретінде анықталуы мүмкін. Әдетте көлемдік концентрация бойынша аддитивтілік қолданылады

Егер қоспаның өлшенілетін физика-химиялық қасиеті аддитивті болса, онда келесіні жазуға болады:

$$V = k_n \cdot P_{cm} = k_n \cdot (P_o \cdot C_o + P_n \cdot C_n),$$

$$I = C_o + C_n,$$

мұндағы V - қоспаның физика-химиялық қасиетін анықтау үшін қолданылатын анализатордың сигналы;

k_m - физика-химиялық қасиеті бойынша анализатордың түрлендіру коэффициенті;

C_o, C_n – анықталатын және анықталмайтын концентрация коэффициенті;

P_o, P_n – қоспаның қасиетіне сәйкес келетін анықталатын және анықталмайтын компоненттердің физика-химиялық қасиеттері.

Компоненттің концентрациясын анықтау үшін псевдобинарлы қоспаның кейбір физика-химиялық қасиеттері өлшенеді, сол бойынша көп компонентті қоспа бинарлы болып қарастырылады.

Бинарлы және псевдобинарлы сұйықтық пен газ қоспаларының құрамын анықтау үшін физика-химиялық қасиеттердің әр түрлі анализаторлары қолданылады.

Автоматты газанализаторлар ЖЭС-те органикалық отынды жандырған кезде жану процесін бақылау және ауаның керекті шегін білу үшін қолданылады.

Газдық талдау құрылғылары технологиялық объектілердің қауіпсіз жұмыс істеу үшін қолданылады. Мысалы, турбогенераторды суыту жүйесінде H_2 сутектің концентрациясын есептейтін газанализаторлар, АЭС-те радиоактивті жылу тасымалдағыштары бар аппараттарындағы газдарда.

Сонымен бірге, қоршаған ортаны қорғау мәселелеріне көп зер салынатын болғандықтан газанализаторлардың шығарылуы мен қолдануы айтарлықтай көбейді; олар атмосферадағы, өндірістік орындағы ауасындағы, өнеркәсіп кәсіпорындары мен электр станцияларының газдық шығарындыларындағы зиянды қоспаларын бақылауға арналған.

6.2 Магниттік газанализаторлар

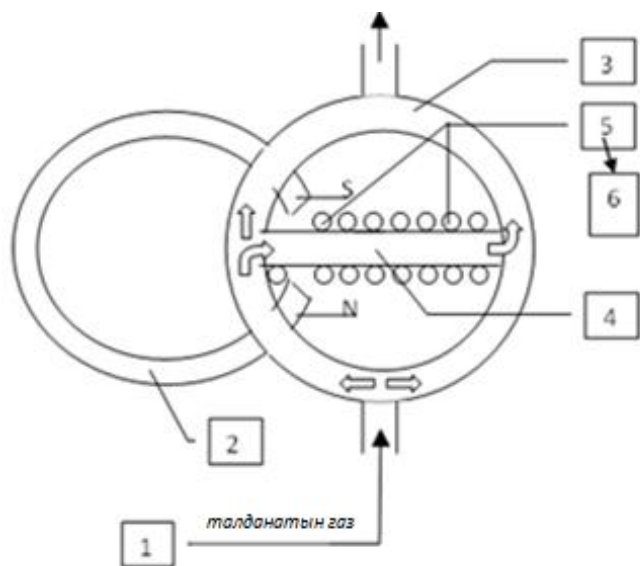
Олардың жұмыс істеу принципіне талданатын қоспаның анықталатын компонент пен магнит өріснің байланысуы себебінен пайда болатын әр түрлі құбылыстар жатады.

Магнит өрісіне жұтылатын газдар *парамагнитті*, ал итерілетін - *диамагнитті* деп аталады.

Газдардың магниттік қасиеттері сан жағынан олардың *магнитті қабылдағыштық* деп аталатын шамамен анықталады. Парамагнитті газдардың магнит қабылдағыштығы оң мәнді, ал диамагнитті газдарда - теріс мәнді болады. Магнит қабылдағыштық аддитивті қасиетке ие.

Оттегі және азот оксиді *парамагнитті қасиеттерге* ие, сонымен бірге абсолютты мәні бойынша олардың магнит қабылдағыштығы басқа газдар мен булардың магнит қабылдағыштығынан 100 есе көп. Көп компонентті қоспадағы оттегінің концентрациясын есептеу осыған негізделген.

6.1 суретте термомагнитті газанализатордың сұлбасы келтірілген.



6.1 сурет – Термомагнитті газанализатордың сұлбасы

Суреттегі белгіленулер: 1 - дайындау блогы; 2 - тұрақты магнит; 3 – сақиналы камера; 4 - жұқа қабырғалы шыны түтік; 5- теңестірілмеген көпір; 6 – потенциометр.

Әрекет принципі: электр тогымен қыздырылатын өткізгіштің біртекті емес магнит өрісінде орналасқан кезінде, қыздырудан туындаған оттегінің магнит қабылдағыштығының төмендеуі себебінен, магнит өрістің үлкен кернеу аймағынан аз кернеу аймағына бағытталған газ қоспасының қозғалысы пайда болады. Талданатын газ 1 дайындық блогынан 3 сақиналы камераға өтеді. Камераның диаметры бойынша жылу шығын өлшегіштің R_1 және R_2 терморезисторлары оралған 4 жіңішке шыны түтікшесі орнатылған. Егерде талданатын қоспада оттегі болмаса, онда 4 түтікшенің көлденең орналасу кезінде ол арқылы газ ағыны болмайды.

Егер талданатын қоспада O_2 оттегі болса, ол түтікшенің сол жағындағы 2 тұрақты магнитпен туындайтын магнит өрісіне жұтылады. Одан кейін O_2 оттегі Кюри нүктесінен ($\sim 80^\circ\text{C}$) жоғарғы t° температурасына дейін R_1 терморезисторымен қыздырылады, осыдан O_2 оттегі парамагниттік қасиетін жоғалтып, диамагнитке айналады және магнит өрісінен итеріледі (көрсеткіш бағыты бойынша). 4 түтікшеде газ ағыны - «магнит жел» пайда болады. 4 түтікшедегі газ шығыны жылу шығын өлшегішпен өлшенеді. Талданатын газда оттегінің O_2 көлемдік концентрациясымен анықталатын 5 көпірдің теңгерімсіздігі 6 потенциометрмен өлшенеді және тіркеледі.

Өлшеу диапазоны 0 – 1%-дан 0 – 100%-ға дейін. Дәлдік кластары: 2,5 – 5. Реакция уақыты - 120 сек.

6.3 Оптикалық газанализаторлар

Анықталынатын компонент концентрациясы газ қоспасындағы оптикалық қасиеттерінің өзгеруімен өлшенеді, олардың қатарына сыну көрсеткіштері, спектрлік жұту мен сәулелену, спектрлік тығыздық және т.б. жатады.

Оптикалық газанализаторларды үш топқа бөлуге болады:

- инфракызыл (ИК) және жұту ультракүлгін (УФ);
- спектрофотометриялық;
- фотокалориметриялық.

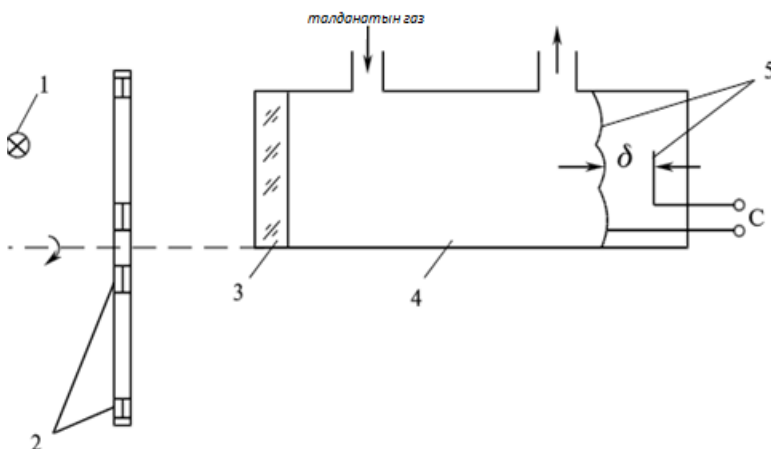
Оптикалық газанализаторлар *үлкен рұқсат ету қасиетіне* ие, сол себептен олар өнеркәсіптік газдардағы жарылыс қауіпі бар және улы қоспалардың микроконцентрациясын талдау үшін, атмосферада және өндірістік үй-жайларда ауаны бақылау кезінде қолданылады.

Әрбір газ белгілі анықталған жұту спектрімен сипатталады: құрамында 2 және одан да көп әртүрлі атомдары бар газдардың (CO , CO_2 , CH_4 , NH_3) инфракызыл спектр аймағында жұту спектрлері бар. Бірағымды газдар ультракүлгін аймағында жұту спектрімен сипатталады.

6.3.1 Инфрақызыл газанализатор.

6.2 суретте инфрақызыл газанализатордың сұлбасы келтірілген.

Инфрақызыл газанализатордың жұмыс істеу принципі: 2 тесіктері бар айналатын диск және 3 светофильтр арқылы тұрақты сәулелену пульстенетін монохромды сәулеленуге түрленеді. 4 камерасындағы талданатын компонент сәулені жұтады, бұл кезде камерада t° температураның, сонымен бірге қысымның да пульсациясы пайда болады. P қысым пульсациясы 5 микрофонды сезімтал элементімен қабылданады; бұл элемент жылжымалы мембрана және қозғалмайтын пластинамен жасалған конденсатор болып табылады.



6.2 сурет – Инфрақызыл газанализатордың сұлбасы

Сұлбадағы белгілеулер: 1 – тұрақты сәулелену көзі; 2 - тесіктері бар айналатын диск (обтюратор); 3 – светофильтр; 4 – камера; 5 – сезімтал элемент (микрофон).

P қысым қозғалысынан мембрананың орыны ауысады, бұл δ саңылаудың өзгеру себебінен C конденсатордың сыйымдылығының өзгерісіне әкеледі.

Осындай типті құрылғылар *оптика-акустикалық* деп аталады, өйткені басында жарық ағынның обтюрациясы дыбыстық жиілікпен орындалған.

Өндірістік оптикалық газанализаторларының күрделі өлшегіш сұлбалары бар және олар әдетте екі каналды болады.

Осындай анализаторлардың өлшеу диапазоны - 0-1-ден 0-100 %-ға дейін. Дәлдік кластары: 2,5-10 (өлшеу диапазонына тәуелді).

6.3.2 Ультракүлгін газанализатор.

Көптеген газдар мен булар ультракүлгін (УК) сәулесін жұту қасиетіне ие, бірақ олардың аз ғана саны басқа газдардан өзгеше спектрлік жұту қасиетіне ие.

Мұндай оптикалық газанализаторлары ауада сынаптың, хлордың, никель карбонилінің уытты буларының болуын өлшеу үшін қолданылады. Ультракүлгін сәулесінің көзі ретінде сынап шамдары қолданылады. Сәулелену қабылдағышы ретінде фоторезисторлар, вакуумды фоторезисторлар, вакуумды фотоэлементтер және фотокөбейткіштер қолданылады.

Сұлбалар бір каналды немесе екі каналды болуы мүмкін.

6.4 Алтыншы тарауға бақылау сұрақтары

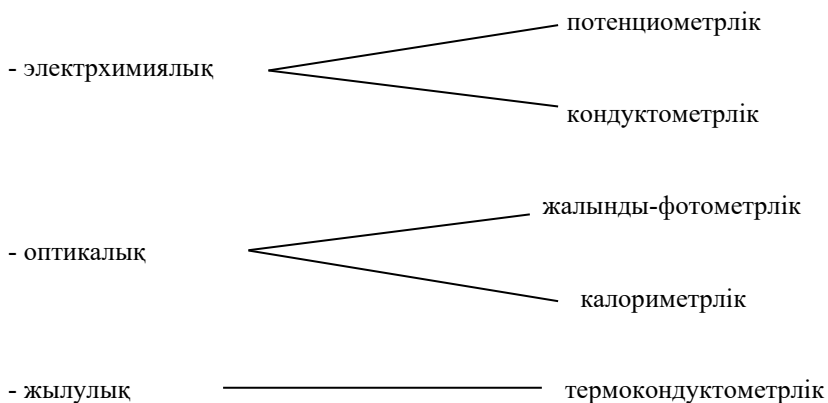
- 1 Физика-химиялық қасиеттерінің аддитивтілігі.
- 2 Парамагнит және диамагнит газдар. Магниттік қабылдағыш.
- 3 Көпкомпонентті қоспа, бинарлы қоспа, псевдобинарлы қоспа анықтамаларын беріңіз.
- 4 Магнит газанализаторлардың сұлбасы мен әрекет принципі.
- 5 Оптикалық газанализаторлардың классификациясы. Олардың ерекшеліктері мен қолдану салалары.
- 6 Инфрақызыл газанализаторлардың сұлбасы мен әрекет принципі.
- 7 Ультракүлгін газанализаторлардың сұлбасы мен әрекет принципі.

7 тарау. Сұйықтықтың құрамын талдау

7.1 Жалпы мәліметтер

Энергетикадағы көптеген технологиялық процестер сұйықтықтың құрамын талдаудың нәтижесіне негізделген. Қоршаған ортаны қорғау бойынша жұмыстың маңызды сәттерінің бірі табиғи және жасанды су айдындарының жай-күйін бақылау және өнеркәсіптік кәсіпорындар мен елді мекендердің төгінді суларын талдау болып табылады.

Өнеркәсіптік анализаторларда сұйықтықтарды талдаудың келесідей әдістері кеңінен таралған:



7.2 Ерітінділерді талдаудың кондуктометрлік әдісі

Бұл әдісте *электрөткізгіштік, ерітіндіде диссоцияланатын заттың концентрациясы, кондуктометрлік титрлеу* өлшенетін шамалар болып табылады.

Электролиттердің су ерітінділері 2-ші текті өткізгіштер болып табылады, оларда токтың тасымалдануы иондардың қозғалысымен жүзеге асырылады. Электрөткізгіштік ерітіндідегі иондардың қосынды концентрациясын сипаттайды, осыған байланысты концентрацияны өлшеуге арналған аспаптар меншікті электрөткізгіштік бірліктерінде: См/см , шартты тұз мөлшері (мг/кг NaCl) немесе концентрация бірліктерімен ($\% \text{H}_2\text{SO}_4$) градуирленеді.

Меншікті электрөткізгіштік χ – меншікті кедергіге кері шама, концентрацияға тәуелділігінің күрделі сипаты бар:

- 1) концентрация 5-10 % болғанда - сызықты тәуелдік;

2) концентрациясының өсуі (>15-30 %) электр өткізгіштіктің азаюымен қатар жүреді, ол азаю молекулалардың диссоциация деңгейінің төмендеуі себебінен пайда болады;

Осыдан, экстремум аймағында өлшеу мүмкіндігін қоспағанда, кондуктометрдің жұмыс аймағын алдын ала білу қажет.

Ерітіндінің меншікті электрөткізгіштігі температураға өте тәуелді:

$$\chi_t = \chi_{25} \left[1 + \alpha(t - 25) + \beta(t - 25)^2 \right], \quad (7.1)$$

Теориялық тұрғыда таза су $t=25^\circ\text{C}$ температурасында $\chi=0,0055$ мкСм/см электрөткізгіштікке ие болады. Ерітілген заттардың аз концентрациясын өлшеу кезінде судың электр өткізгіштігі фондық құрамдастарын құрады.

Жылу және атом электр станцияларында қыздырылған және қаныққан бу конденсаты, коректік және химиялық тұзсыздандырылған су аз тұз құрамды бола отырып, құрамында H , NH_4 , OH , HCO_3 , CO_3 иондарын құрайтын CO_2 және NH_3 ерітілген газдары болады. Нәтижесінде ұшпайтын компоненттердің концентрациясымен шартталған судың электр өткізгіштігі жалпы электр өткізгіштігінің пайызын құрайды.

Электрөткізгіштікке ерітілген газдардың әсерін азайту үшін H -катионды сүзгілер пайдаланылады, сынамаларды газсыздандыру және буландыру жолымен оның шоғырлануы жүргізіледі.

Ерітінділердің концентрациясын олардың электр өткізгіштігі бойынша өлшеу үшін электродты және электродты емес әдістерді қолданады, соңғысы аз таралған және негізінен қышқылдар, сілтілер концентрациясын өлшеу үшін қолданылады.

7.2.1 Электродты кондуктометр.

Жалпы жағдайдағы электродты кондуктометр – бұл сұйықтыққа салынған екі пластина (электродтар), олар арасындағы ерітіндінің R_x кедергісі меншікті электрөткізгіштігімен келесідей байланысты:

$$R_x = \frac{l}{\chi S} = \frac{k}{\chi}, \quad (7.2)$$

мұндағы l , S – электродтар арасындағы қашықтық және олардың ауданы;
 k – бастапқы түрлендіргіштің (датчиктің) тұрақтысы.

Бастапқы түрлендіргіштің тұрақтысы белгілі электрөткізгіштігі бар үлгілік ерітінді бойынша градуирлеу жолымен анықталады.

Электрөткізгіштіктің бастапқы түрлендіргішінің кедергісін өлшеу үшін қолданылатын өлшеуіш көпірлер айнымалы токпен қоректенеді. Тұрақты токты қолданғанда электродтардың поляризациясы жүреді, кері әсер ететін ЭҚК-і пайда болады және ерітіндінің кедергісі өседі.

Платиналық электродтар минималды поляризациялау кедергіге ие болады және оларды жоғары дәлдікті өлшеу мақсатында зертханалық кондуктометрлерде қолданады. *Өндірістік кондуктометрдің электродтары* тот баспайтын болаттан жасалады.

Датчиктерді айнымалы токпен қоректендіру кезінде өлшеудің нәтижесіне электродтардың поляризациясының әсері f жиіліктің өсу шамасына қарай төмендейді. Өнеркәсіптік кондуктометрлердің датчиктері жиілігі $f=50 \text{ Гц}$ болатын айнымалы токпен, ал зертханалық кондуктометр $f=1\div 2\text{кГц}$ болатын дыбыстық генератордан қоректенеді. Бірақ айнымалы токпен қоректену кезінде электродтар арасында активті кедергімен қатар ерітіндінің диэлектрлік өтімділігіне тәуелді болатын сыйымдылықты кедергі пайда болады. Кедергінің бұл кешенді сипаты көпірдің жақын иықтарының біріне кешенді кедергіні енгізумен ескеріледі.

Өнеркәсіп үшін электродты түрлендіргіштер *магистралды, батырылатын және ағынды* болып бөлінеді.

Магистральды түрлендіргіштер талданатын ерітінді ағып өтетін құбырға кіргізіледі. *Батырылатын* түрлендіргіштер бақыланатын сұйықтығы бар резервуарға түсіріледі. *Ағынды* түрлендіргіш арқылы талданатын ерітіндінің сынамасы өтеді.

АК-310 кондуктометр 0-1, 0-10, 0-100 мкСм/см өлшеу диапазонына ие болады және $\pm 5 \%$ шектік қателігіне сәйкес шығысындағы тоқтық сигнал 0-5 мА болады.

Кеңінен таралған сұйықтық талдағыштардың қатарына 2 және 4 электродты түрлендіргіштері бар және түрлендіргіші жоқ *КК* сериялы кондуктометрлер жатады. Шекті негізгі қателігі $\pm 2,5 \%$ болады және $t^0=25\pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$ аралықтағы температурада жұмыс жасағанда өлшеу аралығы 10^{-6} -ден 1-ге См/см дейін болады.

Электродты кондуктометрлердің *кемшіліктеріне* мыналар жатады: олардың бетінде өтетін электрхимиялық реакциялардың өнімдерімен, сондай-ақ, ерітіндідегі заттармен электродтардың поляризациялануы және ластануы. Оларды мезгіл-мезгіл механикалық немесе химиялық тазалау және жуу қажет.

7.3 Ерітінділерді талдаудың потенциометрлік әдісі

Металл электродты ерітіндіге салған кезде оның бетінде ерітіндідегі осы металдың иондарының активті концентрациясына тәуелді болатын потенциал пайда болады. Потенциалдың пайда болуы металл иондарының ерітіндіге көшуімен байланысты. Тепе-теңдік жағдайында беттік потенциал

металл иондарының ерітіндіге және ерітіндіден электродқа ауысуына байланысты анод және катод процестерінің жылдамдықтарын теңестіруді қамтамасыз етеді. Электродтың беттік потенциалын өлшеу ерітіндідегі сәйкес иондардың концентрациясын жорамалдауға мүмкіндік береді.

Тепе-тең E беттік потенциал үшін ерітіндіге қосымша немесе салыстыру электроды деп аталатын екінші электродты енгізе отырып, электр тізбегін бекіту қажет. Өлшеу процесінде бұл электродтың потенциалы тұрақты болып тұруы керек.

Егер қалыпты ретінде қабылданған қосымша электрод - платиналы сутекті болса, онда электродтардың тепе-тең потенциалдары *сутектік* деп аталатын шкала бойынша өлшенген болып табылады және қалыпты деп саналады.

Ерітіндідегі иондардың активті концентрациясы ондық логарифм бірліктерінде көрсетіледі:

$$pH = -\lg a_{H^+}, \quad (7.3)$$

мұндағы a_n – ерітіндідегі сутегінің иондарының активті концентрациясы.

Сәйкесінше: $pNa = -\lg a_{Na^+}$.

Сондықтан, өлшеу аспаптар pH -метрлер және pNa -метрлер деп аталады.

Таза су – H^+ сутегі және OH гидроксилдың иондарының пайда болуымен әлсіз диссоциацияланатын нейтралды зат.

$t^\circ = 22^\circ C$ болғанда судың диссоциация тұрақтысы:

$$K_{H_2O} = a_{H^+} \cdot a_{OH^-} = 10^{-14},$$

бұдан

$$a_{H^+} = a_{OH^-} = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7},$$

демек, $pH=7$.

Қышқылдарды суда еріткенде H_2 сутегі иондарының концентрациясы өседі, демек pH төмендейді. Суда сілтіні еріткенде a_n азаяды, бұдан pH өседі.

Сонымен судың ерітінділеріндегі pH -тың 7-ден сол немесе басқа жаққа ауытқуы қышқылдық немесе сілтілік қасиеттерін сипаттайды.

Аммиак ерітіндісі үшін $pH=0 \div 32.7$.

Құмырсқа қышқылы үшін $pH=0 \div 6,13$.

7.3.1 Потенциометрлік анализаторларының жұмыстық және қосымша электродтары.

Берілген анализаторларда электродтардың 3 типі қолданылады:

1) металдық электродтар немесе бетінде газбен сорбенттенген металдық, мысалы, сутектік электрод;

2) өзінің құрамында металды контактілі электроды, оның нашар еритін тұзы және осы тұздың аниондарына ие ерітіндісі бар жүйе;

3) арнайы тағайындалған электродтар, мысалы, сұйықтық мембраналы электродтар.

Ерітіндідегі pH санын өлшеу үшін *үлгілі электрод* ретінде *сутектік электрод* қолданылады. Электрод платиналы сиямен жабылған қабаттан тұратын платиналық пластинка. Оның бетінде сутегі жақсы жиналады. Платиналық пластина сутегі қысыммен өтетін ерітіндіге батырылады.

Бастапқы түрлендіргіш 2 сутекті электродтарынан құрылады, көмекші электрод қалыпты болғанда, $t=20$ С кезінде $E=0,058 \text{ } pH, B$ ЭҚК-і пайда болады. Электродқа сутегіні беру қажеттілігі, ерітінділерде болатын бірқатар химиялық заттармен пластинаның улануы, оларды тек қана зертханалық тәжірибелерде үлгілі ретінде сынауға себеп болды.

pH санын зертханалық және өндірістік шарттарда өлшеу үшін *шыны жұмыс электродтар* қолданылады; олардың кең таралуына құрылғының қарапайымдылығы, жоғары метрологиялық сипаттамалары мен талданатын орталардың кең диапазоны ықпал етті. Шыны электродтарда сутектік функциялар ретінде литий немесе натрий шынысынан жасалған сезімтал жіңішке мембрана қолданылады.

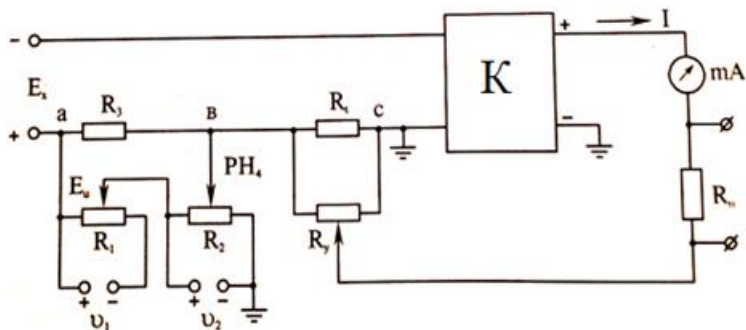
Өнеркәсіптік шыны электродтар pH -ты өлшеу диапазондарымен, t температура мен қысым аймақтарымен ерекшеленетін бірнеше модификацияда орындалады. Шыны электрод сутегі функцияларына ие болу үшін, оны қосу алдында дистильденген суда сулайды.

Өнеркәсіптік pH -метрлерде электродты жүйе технологиялық объектілерде орнатылуын, өлшенетін ортамен байланысуын, механикалық әсерден электродтарды қорғауын қамтамасыз ететін қосымша арматурамен жабдықталады.

Кондуктометрлердің бастапқы түрлендіргіштері сияқты pH -метрлердің электродты жүйелерінің келесі түрлері бар: *магистралды (ДМ), суастына жүктелген (ДС), ағынды (ДА)*.

7.3.2 pH -метрлердің өлшегіш түрлендіргіштері.

Электродты жүйенің ЭҚК-ін өлшеуге арналған құрылғылардың құрылысы оның елеулі ішкі кедергісімен және электродтар арқылы өтетін токтың шамасының шектелуімен - электродтардың поляризациясын болдырмау үшін ток 10^{-12} А аспауы керек. Осындай кедергіге өлшеудің компенсациялық әдісінде негізделген жоғарғы омды кірісі бар құрылғылар ие.



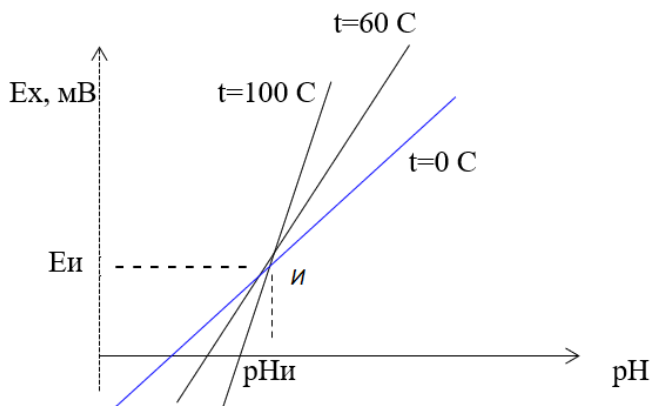
7.1 сурет – pH -метр түрлендіргіштің өлшеу сұлбасы

Күшейткіштің үлкен күшейту коэффициентінде E_x электродты жүйесінен сигналы U_{ab} және U_{bc} кернеулерімен толығымен компенсацияланады. Біріншісі R_3 резисторынан алынады, оның шамасы айнымалы R_1 және R_2 резисторларының движоктарының орналасуына тәуелді болады. Олардың өзара жылжуы $U_{ab} = E_x$ болатындай орнатылады және электродты жүйедегі изопотенциал нүктедегі сигналды компенсациялайтындай орындалады. Теріс кері байланыстың сигналы (КБС) R_4 және айнымалы R_4 резисторы кіретін тізбектен алынады. R_4 резисторы көмегімен электрод жүйесінің градуирлеу сипаттамасының еңкіштігі ауытқыған кезде аспапты баптау жүргізіледі. Мыс R_4 резисторы талданатын ерітіндіге салынады және температуралық компенсацияны жүзеге асырады. Ерітіндінің t° температурасы өскен сайын, E_x өседі, бірақ сонымен қатар R_4 шамасыда өседі, соның арқасында бірдей шығыс тогында U_{bc} компенсациялау сигналының сәйкес өзгеруі қамтасыздандырылады.

Изопотенциал нүктеде $E_x = E_u = -U_{ab}$ болады және U_{bc} күшейткішінің шығысында ток болған жағдайда КБС сигналы нөлге тең болуы тиіс. Бұл шарттың орындалуы R_4 өзгеруінің әсерін изопотенциалды нүктесінде ескермеуді қамтамсыз етеді. R_2 изопотенциал нүктесінде pH_u -ды, R_1 - E_u потенциалын баптау үшін қызмет етеді.

7.2 суретінде электродты жүйенің градуирлену сипаттамасы келтірілген. Электродты жүйе өндіретін қорытынды ЭҚК-і ертіндінің pH санына және оның t° температурасына тәуелді болады. (И) нүктесінде ЭҚК-і t° температураға тәуелді болмайды, осыған байланысты ол *изопотенциал* нүкте деп аталады.

R_4 өзгерген кезде изопотенциал нүктедегі шығыс тогының өзгеруінің болмауы түрлендіргіштің изопотенциал нүктесінің координаталарына дұрыс бапталуын тексеру болып табылады.



7.2 сурет – Электродты жүйенің градуирлену сипаттамасының графигі

Кеңінен тараған отандық *pH*-метрлердің қатарына *pH*-201 және *pH*-261 аспаптары жатады. Олардың өлшеу түрлендіргіштері тұрақты $U=0\div 50$ мВ және $I=0\div 5$ мА бойынша шығыс сигналына ие болады.

pH-201 аспабының 5 диапазоны бар: 1;2,5;5;10;15 рН.

Рұқсат етілген шектік қателік өлшеу аралығының $\pm 1\%$ құрайды.

7.4 Жетінші тарауға бақылау сұрақтары

1. Сұйықтық құрамын талдау әдістерінің классификациясы.
2. Сұйықтық ерітінділерін кондуктометрлік талдау әдісін айтып беріңіз.
3. Келесі түсініктемелерге анықтама беріңіз: меншікті электрөткізгіштік, меншікті кедергі.
4. Электродты кондуктометрдің әрекет принципі.
5. Электродты түрлендіргіштердің классификациясы және олардың ерекшеліктері.
6. Ерітінділердің потенциометрлік талдау әдісін айтып беріңіз.
7. Неліктен ерітінділедің анализаторларын *pH*- метр және и *pNa* – метрлер деп атайды?
8. Ерітінділердің қышқыл және сілтіл қасиеттеріне таза судың әсерін айтып беріңіз.
9. Потенциометрлік анализаторлардың электродтарының түрлері.
10. *pH*-метрлердің өлшеу түрлендіргіштерінің сұлбалары және әрекет принциптері.

Әдебиеттер тізімі

1. Датчики/под ред. В.М.Шарапов и др. - М.: «Техносфера», 2012.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. - М.: «Техносфера», 2010.
3. Иванова Г.М., Кузнецова Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. – М: Энергоиздат, 2010. - 232 б.
4. Медведева Р.В. Средства измерений. - М.: «Кнорус», 2011.
5. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений. - М., 2010.
6. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике. / Под ред. А.В.Калининченко. – М., 2010.
7. Хан С.Г., Тлеубаева Ж.С. Технические средства измерений. Учебное пособие. RSGlobal. Warsaw, Poland. 2020.
8. Технологиялық өлшеулер және аспаптар. Оқу құралы. – Алматы: АЭЖБУ, 2014. – 92 б.
9. Хан С.Г. Технологические измерения и приборы. Учебное пособие. - Алматы: АУЭС, 2012.
10. Хан С.Г. Ибрагимова М.В. Технические средства измерений. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов всех форм обучения специальности 5В070200 - Автоматизация и управление. - Алматы: АУЭС, 2014. - 48 б.
11. Хан С.Г. Технические средства измерений. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 5В070200 - Автоматизация и управление. - Алматы: АУЭС, 2014. - 58 б.
12. Хан С.Г. Технические средства измерений. Методические указания к выполнению расчетно-графических работ для студентов всех форм обучения специальности 050702 – Автоматизация и управление. – Алматы: АИЭС, 2010. – 22 б.
13. Хан С.Г., Ибраева Л.К. Өлшеулердің техникалық құралдары. 5В0702 – Автоматтандыру және басқару мамандығының барлық оқу түрлерінің студенттеріне зертханалық жұмыстарды орындауға әдістемелік нұсқаулар - Алматы: АЭЖБИ, 2010. – 33 б.
14. Хан С.Г., Ибраева Л.К. Өлшеулердің техникалық құралдары. 5В0702 – Автоматтандыру және басқару мамандығының барлық оқу түрлерінің студенттеріне есептеу-графикалық жұмыстарды орындауға әдістемелік нұсқаулар - Алматы: АЭЖБИ, 2010. – 21 б.
15. Хан С.Г., Ибраева Л.К. Технологиялық өлшеулер және аспаптар. 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының барлық оқу түрлерінің студенттеріне арналған зертханалық жұмыстарды орындауға әдістемелік нұсқаулар. - Алматы: АУЭС, 2013.- 48 б.
16. Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы.-М.: «Академия», 2010.

ҚОСЫМША

Төмендегі кестелерде кейбір терминдердің орысша-қазақша (1 кесте) және қазақша-орысша (2 кесте) аударылымдары келтірілген.

Кесте 1

Орысша	Қазақша
Вал	білік
Газанализатор	газталдаушы
Змеевик	ирек түтік
Избыточное	асқын
Излучаемая мощность	сауленелетін қуаттылық
Кольцевая камера	сакиналы камера
Консистенция	консистентті
Концентрация	шоғырлану
Крутизна	еңкіштік
Қозғалтқыш	двигатель
Лучистость	сәулелік
Неравновесный мост	теңестірілмеген көпір
Обтекаемое	ағынмен ағылып өтетін
Расходомеры обтекания	ағып кету өлшегіштер
Обтюратор	тесіктері бар айналатын диск
Однородный	біртекті
Полупроводниковый усилитель	жартылай өткізгішті күшейткіш
Разрежение	сиретілу
Светимость (излучательность)	сәулелендіру
Анализатор	талдаушы
Тепловое излучение	жылулық сәулелену
Тонкостенная стеклянная трубка	жуқа қабырғалы шыны түтік
ТЭС (теплоэлектростанция)	ЖЭС (жылуэлектростанция)
Тяга	күш
Удлиняющие провода	ұзартқыш сымдар
Унифицированный	унифицирленген
Чувствительный элемент	сезімтал элемент
Энергетическая яркость	энергетикалық сәулелігі
Энергетическая светимость	энергетикалық жарықтылық
Энергетическая яркость	энергетикалық сауленелу
Яркость	жарықтық

Кесте 2

Қазақша	Орысша
Ағынмен ағылып өтетін	обтекаемое
Асқын	избыточное
Біртекті	однородный
Вал	білік
Газталдауыш	газанализатор
Еңкіштік	крутизна
Жарықтық	яркость
Жұқа қабырғалы шыны түтік	тонкостенная стеклянная трубка
ЖЭС (жылуэлектрстанция)	ТЭС(теплоэлектростанция)
Ирек түтік	змеевик
Күш	тяга
Қозғалтқыш	двигатель
Өтімділік	проницаемость
Сақиналы камера	кольцевая камера
Сәулелендіру	светимость (излучательность)
Сәулелік	лучистость
Сезімтал элемент	чувствительный элемент
Сиретілуі	разрежение
ТЭТ (термоэлектртурлендіргіш)	ТЭП (термоэлектрический преобразователь)
Талдаушы	анализатор
Теңестірілмеген көпір	неравновесный мост
Унифицирленген	унифицированный
Ұзартқыш сымдар	удлиняющие провода
Шоғырлану	концентрация



RS Global

Оқу құралы

Светлана Гурьевна Хан
Лида Куандыковна Ибраева
Жанна Серикбаевна Тлеубаева

ӨЛШЕУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

Passed for printing 23.12.2020. Appearance 28.12.2020.

Typeface Times New Roman.

Circulation 300 copies.

RS Global Sp. z O.O., Warsaw, Poland, 2020

Numer KRS: 0000672864

REGON: 367026200

NIP: 5213776394



RS Global

С.Г. Хан, Л.К. Ибраева, Ж.С. Тлеубаева

ӨЛШЕУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

ОҚУ ҚҰРАЛЫ

Publisher:

RS Global

Dolna 17, Warsaw,

Poland 00-773

<https://monographs.rsglobal.pl/>

Tel: +48 226 0 227 03

Email: monographs@rsglobal.pl