ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

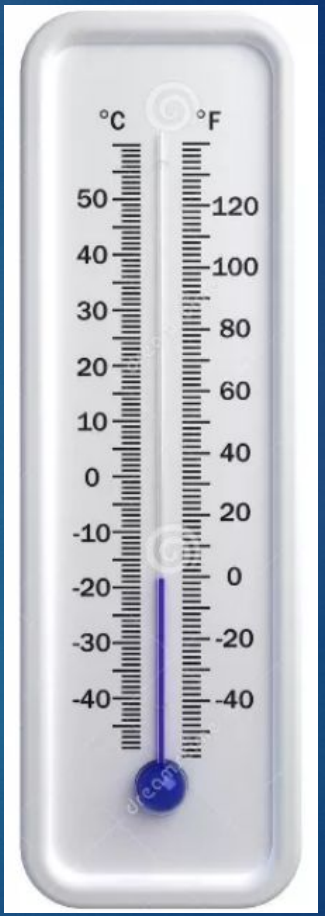
Температура является одним из основных параметров, измеряемых в промышленности. Температура – величина, характеризующая степень «нагретости» тела, т. е. температура характеризует тепловое состояние вещества и пропорциональна средней кинетической энергии E его молекул:

$$T = \frac{2}{3} \cdot k \cdot E,$$

где $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Непосредственное измерение температуры невозможно. Количественная оценка температуры возможна только при сравнении показаний термометра с некоторой эталонной температурой.

Для унификации результатов измерений различными средствами, основанными на различных методах, применяется международная температурная шкала



ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Жидкостные стеклянные термометры

Принцип действия стеклянных жидкостных термометров основа на тепловом расширении жидкостей. При измерении температуры изменяется объем термометрической жидкости, при этом изменяется уровень жидкости в капилляре, по которому отсчитывается значение температуры

Коэффициент объемного расширения рабочей жидкости при изменении давления от значения V_1 до значения V_2 вследствие изменения температуры от значения t_1 до значения t_2 зависит от объема жидкости V_0 при температуре 0 °С и определяется выражением

$$\alpha_{ж} = \frac{V_2 - V_1}{V_0 \cdot (t_2 - t_1)},$$

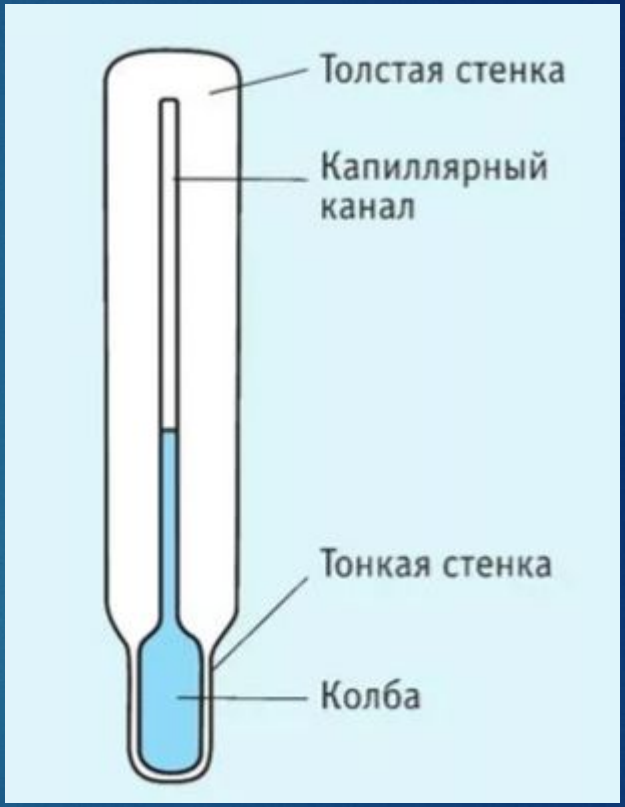
Изменение высота столба жидкости в капилляре при изменении температуры от значения t_1 до значения t_2 зависит от внутреннего диаметра капилляра d и определяется по формуле

$$\Delta h = 1{,}275 \cdot \frac{V_1 (\alpha_{ж} - \alpha_c) \cdot (t_2 - t_1)}{d^2},$$

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Жидкостные термометры состоят из пяти принципиальных частей, это: *шарик термометра, жидкость, капиллярная трубка, перепускная камера, и шкала*.

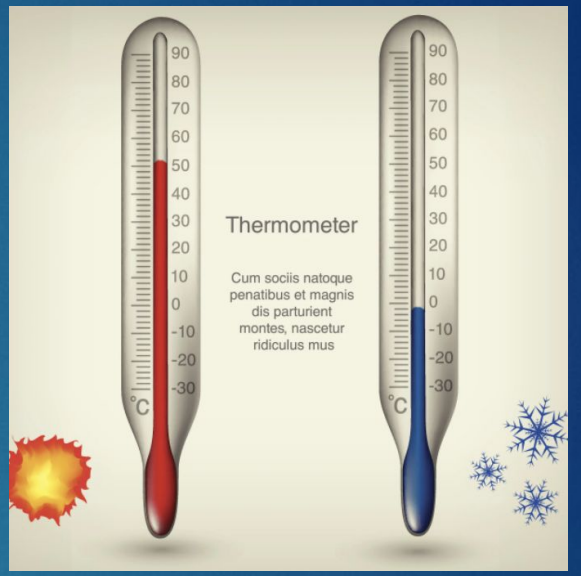
Шарик термометра — это часть, где помещается жидкость. Жидкость реагирует на изменение температуры поднимаясь или опускаясь по капиллярной трубке. Капиллярная трубка представляет собой узкий цилиндр по которому перемещается жидкость. Часто капиллярная трубка снабжена перепускной камерой, которая представляет собой полость, куда поступает избыток жидкости. Если не будет перепускной камеры, то после того, как капиллярная трубка наполнится, создастся достаточное давление для того, чтобы разрушить трубку, если температура будет и дальше повышаться. Шкала — это часть жидкостного термометра, с помощью которой снимаются показания. Шкала откалибрована в градусах. Шкала может быть закреплена на капиллярной трубке, либо она может быть подвижной. Подвижная шкала дает возможность ее регулировать



ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Принцип работы жидкостных термометров основан на свойстве жидкостей сжиматься и расширяться. Когда жидкость нагревается, то обычно она расширяется; жидкость в шарике термометра расширяется и двигается вверх по капиллярной трубке, тем самым показывая повышение температуры. И, наоборот, когда жидкость охлаждается, она обычно сжимается; жидкость в капиллярной трубке жидкостного термометра понижается и тем самым показывает понижение температуры. В случае, когда имеется изменение измеряемой температуры вещества, то происходит перенос теплоты: сначала от вещества, чья температура измеряется, к шарику термометра, а затем от шарика к жидкости. Жидкость реагирует на изменение температуры двигаясь вверх или вниз по капиллярной трубке.

Тип используемой жидкости в жидкостном термометре зависит от диапазона измеряемых термометром температур.



Ртуть, -39—600 °C (-38—1100 °F);
Сплавы ртути, -60—120 °C (-76—250 °F);
Спирт, -80—100 °C (-112—212 °F).

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Характеристики некоторых термометрических жидкостей приведены в таблице

Характеристики рабочих жидкостей термометров

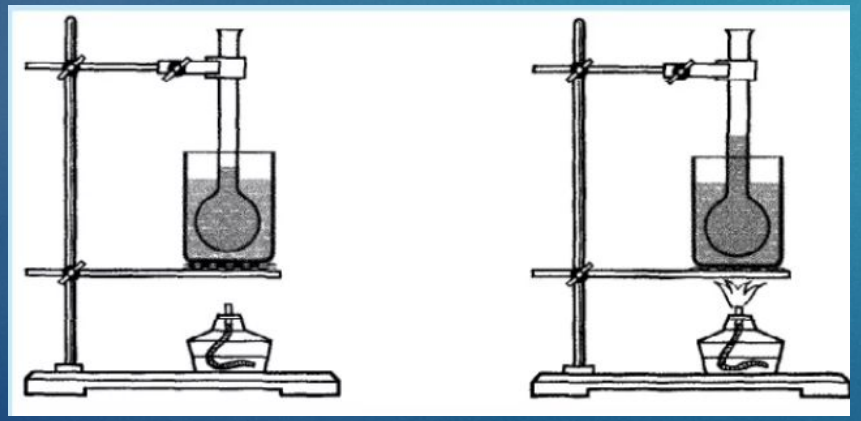
Термометрическое вещество	Предел измерения термометра, °С	$\alpha_ж$, K^{-1}
Ртуть	– 35…+ 600	16
Ртуть-таллий	– 60…+ 100	16
Спирт этиловый	– 80…+ 80	103
Спирт метиловый	– 80…+ 80	115
Пентан	– 190…+ 20	170
Изопентан	– 200…+ 20	170
Толуол	– 80…+ 100	120
Керосин	0…+ 300	93
Метилкарбитол	– 50…+ 100	93
Петролейный эфир	– 100…+ 20	140
Галлий-индий-олово	+ 10…+ 1200	198

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Если при использовании стеклянного термометра для измерения температуры жидкости нет возможности погрузить его в измеряемую среду до отсчитываемой отметки, в показания термометра вводится поправка на выступающий столбик:

$$\Delta t = n \cdot \alpha_{ж} \left(t - t_{в.с} \right),$$

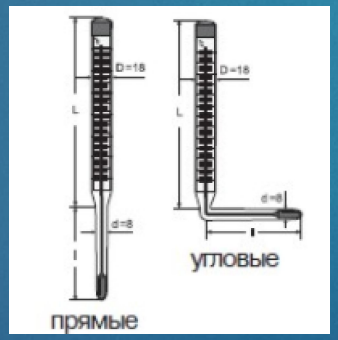
где t – показания термометра, °С; $t_{в.с}$ – средняя температура выступающего столбика, °С; n – число делений шкалы, равное высоте выступающего столбика



ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

К недостаткам относят:

- низкий класс точности измерения – 1,5 и 2,5;
- необходимость регулярной проверки;
- сложный ремонт;
- термобаллон большого размера.



ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

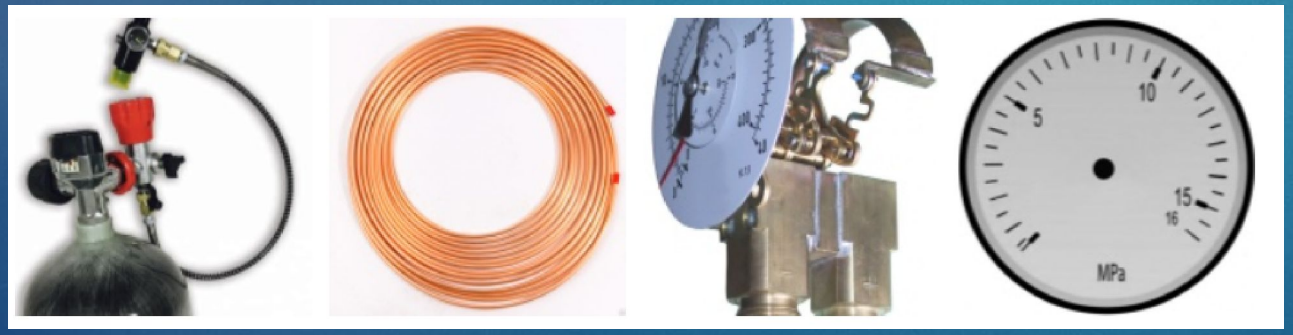
Манометрические термометры

Манометрический термометр предназначен для измерения температуры на определенной дистанции. Такой прибор позволяет фиксировать температуру различных жидкостей, паров и газов. Иногда его могут встраивать в специальное оборудование, которое преобразует сигнал в электрический и позволяет регулировать температуру. Термометры такого типа используют довольно давно. С их помощью удается измерить температуру без особых усилий, что способствует упрощению любого рабочего процесса

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Устройство манометрического термометра имеет простой вид. **В целом схема строится следующим образом:**

- термальный баллон;
- капиллярная трубка;
- полная манометрическая пружина;
- тяга;
- зубчатый сектор;
- стрелка;
- шкала.



1 — пружина манометрическая, *2* — стрелка показывающая, *3* — ось, *4* — механизм передаточный, *5* — капилляр, *6* — термобаллон.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Принцип работы данного устройства можно выразить в определенной схеме.

1. В первую очередь происходит изменение давления рабочего вещества в термальном баллоне.
2. Далее оно воспринимается манометрической пружиной посредством соединительной трубки.
3. После этого пружина начинает раскачиваться и приводить в движение шкалу через передаточный механизм (тягу, трубку и сектор).
4. По завершении всего пути стрелка останавливается на отметке, которую считают показателем температуры жидкости, газа или пара.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Изменение показаний манометрических термометров возможно также за счет изменения давления, независимо от значения температуры. Например, одним из таких факторов может быть разность уровней между термобаллоном и манометром для жидкостных манометрических термометров

Если известна величина давления газа P_0 при температуре 0 °С и термический коэффициент давления β, то, при неизменном объеме газа в термосистеме, его давление P_t при температуре t (°С) будет определяться выражением $P_t = P_0 \cdot (1 + \beta \cdot t)$,

Давление $P_к$, соответствующее верхнему пределу измерения температуры $t_к$, зависит от значения давления $P_н$, соответствующего нижнему пределу измерения температуры $t_н$, и определяется выражением

$$P_к = P_н \cdot \frac{1 + \beta \cdot t_к}{1 + \beta \cdot t_н}.$$

Преобразовав выражение , можно получить уравнение шкалы манометрического термометра

$$\Delta P = P_к - P_н = \frac{P_н \cdot \beta \cdot (t_к - t_н)}{1 + \beta \cdot t_н}.$$

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Биметаллические и дилатометрические термометры

Принцип действия биметаллических термометров основан на том, что полочка из двух свальцованных друг с другом пластин из металлов с различными коэффициентами расширения искривляется при изменении температуры.

Так как искривление происходит приблизительно пропорционально изменению температуры, этот эффект положен в основу приборов для измерения температуры, называемых биметаллическими. В сравнительно небольшом температурном диапазоне зависимость длины твердого тела l_t от температуры t зависит от начальной длины тела (при температуре 0 °C) и коэффициента линейного расширения материала и определяется выражением

$$l_t = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t).$$

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Значения коэффициентов линейного расширения материалов биметаллических и дилатометрических термометров приведены в табл.

Средние коэффициенты линейного расширения материалов

Материал	$\alpha \cdot 10^{-6}$, °C^{-1}
Хромомолибден	12,3
Латунь	18,3…23,6
Никелевая сталь	20,0
Красная медь	15,3
Плавленый кварц	0,55
Инвар	0,9
Сталь 12Х18Н9Т	15,5
Сталь 12Х18Н12Т	16,6

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Другим типом термометров, в основу работы которых также положено свойство твердых тел изменять свои линейные размеры при изменении температуры, являются дилатометрические термометры.

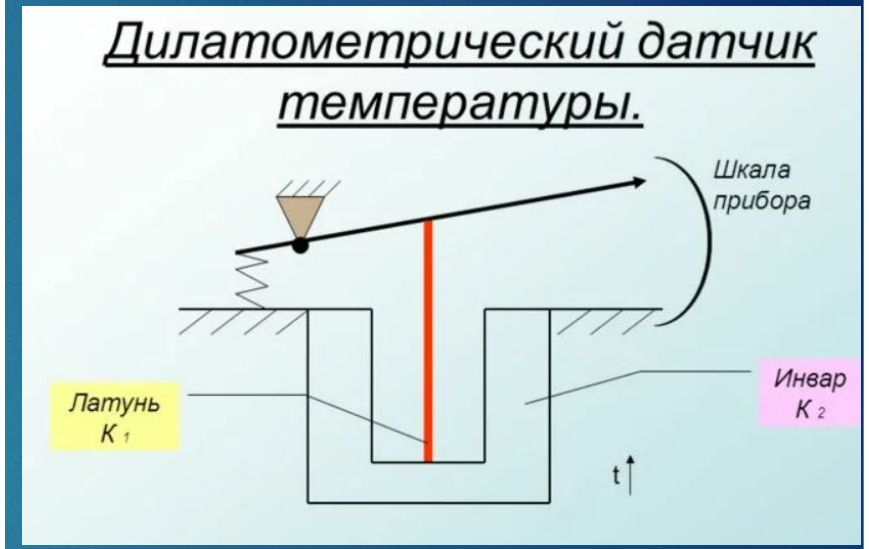
Такой термометр состоит из металлической трубы, внутри которой помещен стержень, причем материал трубы обладает большим коэффициентом $\alpha_т$ линейного расширения по сравнению с коэффициентом $\alpha_с$ материала стержня. Термометр снабжен электроконтактным устройством, соединяемым со стержнем. Так как при повышении температуры от значения $t_н$ до значения $t_к$ труба удлиняется сильнее стержня, последний перемещается вниз. При этом перемещение стержня определяется выражением

$$\Delta l = l_к - l_н = \frac{l_н(\alpha_т - \alpha_с)(t_к - t_н)}{1 + (\alpha_т - \alpha_с)\cdot t_н},$$

где $l_к$ – длина трубы при температуре $t_к$; $l_н$ – длина трубы при температуре $t_н$.

чувствительность термометра определяется выражением

$$\Delta l = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{l_н \cdot (\alpha_т - \alpha_с)}{1 + (\alpha_т - \alpha_с)\cdot t_н}.$$



Задачи

Лабораторный стеклянный термометр, заполненный пентаном, показывает по шкале $X_П$ °С. Термометр погружен в измеряемую среду до отметки $X_{пог}$ °С. Температура выступающего столбика составляет $X_{в.с}$, °С. Коэффициент видимого объемного теплового расширения рабочей жидкости в стекле – $\alpha_ж$. Варианты индивидуальных заданий приведены в табл.

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Рабочая жидкость	$X_{вс}$, °С	$X_П$, °С	$X_{пог}$, °С
1	Ртуть	10	155	10
2	Керосин	5	55	15
3	Изопентан	10	– 105	– 155
4	Спирт этиловый	20	40	– 50

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

В термостат помещено два термометра: технический с пределами измерения $X_Н \ldots X_В$ °С с пределом допускаемой основной погрешности $\pm\Delta$ °С и лабораторный термометр. Показания технического и лабораторного термометров составили $X_{П1}$ °С и $X_{П2}$ °С соответственно. Известно, что поправка на показания лабораторного термометра по свидетельству о поверке составляет –1 °С, поправка на показания на выступающий столбик равна +0,5 °С. Определить, выходят ли за пределы допускаемой погрешности показания технического термометра. Варианты индивидуальных заданий приведены в таблице 1.3.

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	$X_Н$, °С	$X_В$, °С	$X_{П1}$, °С	$X_{П2}$, °С	Δ, °С
1	0	500	450	452	4
2	0	100	92	96	3
3	– 20	+20	2	0	1
4	– 30	+30	15	19	3,5
5	0	25	9	14	2

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Определите, какое начальное давление должно быть создано в системе манометрического газового термометра при t_1 (°С), чтобы при изменении температуры от $X_{нп}$ до $X_{вп}$ (°С) давление в системе изменялось на P (МПа). Термический коэффициент расширения газа – β. Варианты индивидуальных заданий приведены в табл.

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	t_1, °С	$X_{нп}$, °С	$X_{вп}$, °С	P, МПа	β, $К^{-1}$
1	0	0	600	10	0,00366
2	0	0	500	10	0,00355
3	0	0	400	9	0,00220
4	20	0	300	9	0,00300
5	20	0	200	8	0,00331

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Определить температуру, измеряемую с помощью манометрического термометра в текущий момент, если при увеличении температуры на величину Δt (°С) давление в термобаллоне увеличилось с в n раз при начальном давлении $P_н$ (МПа). Варианты индивидуальных заданий приведены в табл.

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Δt, °С	n	$P_н$, МПа	β, $К^{-1}$
1	420	2,0	4,15	0,00295
2	380	1,9	4,47	0,00215
3	360	1,6	4,53	0,00200
4	380	1,8	4,28	0,00159
5	450	2,2	4,29	0,00315
6	360	1,7	4,84	0,00322
7	380	1,8	5,12	0,00367
8	390	1,9	5,14	0,00284

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ