



**Министерство образования и науки
Российской Федерации
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»**

С.Н. Козлов, Н.В. Дубинина

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ПРИБОРЫ

Методическое пособие по решению задач по курсу «Механизация и автоматизация производственных процессов» для студентов специальности 260601.65 «Машины и аппараты пищевых производств»

Рубцовск 2011

УДК 681.5

Козлов С.Н., Дубинина Н.В. Измерительные преобразователи и приборы: Методическое пособие по решению задач по курсу «Механизация и автоматизация производственных процессов» для студентов специальности 260601.65 «Машины и аппараты пищевых производств» / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2011. – 84 с.

В пособии содержатся задачи по устройству, принципу действия, методикам проведения измерений, погрешностям измерительных преобразователей и измерительных приборов, наиболее широко применяемым в пищевых производствах. Пособие предназначено для проведения практических занятий, самостоятельной работы и различных видов тестирования знаний студентов всех форм обучения.

Рассмотрен и одобрен
на заседании кафедры
ТиТМиПП РИИ.
Протокол №4 от 24.12.10.

Рецензент: к.т.н., доцент

П.А. Люкшин

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Термометры и термопреобразователи	6
2. Измерители расхода жидкостей и газов	27
3. Приборы для контроля давления	38
4. Уровнемеры и сигнализаторы уровня	50
5. Приборы для измерения влажности и химического состава веществ	59
Список литературы	75
Приложение	76

ВВЕДЕНИЕ

Единственным способом получения объективных данных о свойствах предметов и процессов материального мира являются измерения, в результате которых могут быть определены физические величины (или параметры), характеризующие объект, подвергшийся измерению. Таким образом, измерение – это процесс нахождения численного значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств (так называемых средств измерений).

Средства измерений представляют собой совокупность технических устройств, используемых при различных измерениях и имеющих нормированные метрологические свойства, т.е. отвечающих требованиям метрологии в отношении единиц и точности измерений, надежности и воспроизводимости полученных результатов, а также требованиям к их размерам, конструкции, стоимости и т.д.

Основными средствами измерений являются измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.

Измерительные преобразователи (датчики) предназначены для формирования сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения. Измерительный преобразователь в общем случае состоит из следующих элементов (рис. 1):

1. Первичный преобразователь, к которому подводится измеряемая физическая величина;
2. Промежуточный преобразователь, занимающий в измерительной цепи место после первичного преобразователя и предназначенный для проведения необходимых операций над сигналом (усиления, выпрямления, сглаживания и т.п.);
3. Передающий преобразователь, предназначенный для дистанционной передачи сигналов измерительной информации.

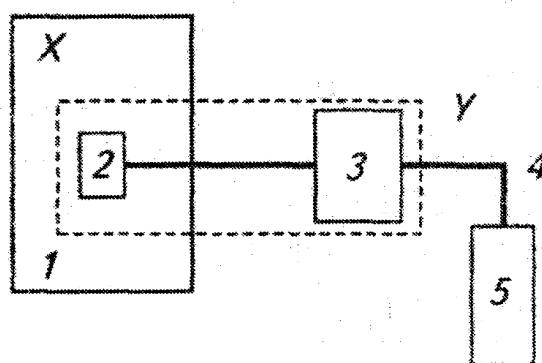


Рис. 1. Система «контролируемая среда – измерительный преобразователь»: 1 – объект с контролируемой средой; 2 – первичный преобразователь (чувствительный элемент); 3 – промежуточный или передающий преобразователь; 4 – система связи; 5 – приемник сигнала; X, Y – входной и выходной сигналы измерительного преобразователя

Измерительные приборы предназначены для формирования сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем. По форме выдачи информации измерительные приборы, так же как и измерительные преобразователи, подразделяются на аналоговые, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины, и цифровые, показания которых являются дискретными и представляются в цифровой форме.

Измерительные установки предназначены для формирования сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и представляют собой совокупность функционально объединенных мер, измерительных преобразователей и приборов, а также вспомогательных устройств, объединенных единой конструкцией.

Измерительные системы предназначены для формирования сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления.

Для контроля и автоматического регулирования параметров технологических процессов пищевых производств применяется очень широкая номенклатура измерительных преобразователей и измерительных приборов различных конструкций, принципов действия, диапазонов измерения, классов точности.

Предлагаемое пособие предназначено для закрепления и углубления теоретических знаний, получаемых студентами при изучении курса «Механизация и автоматизация производственных процессов». При подборе задач авторы старались придерживаться следующих принципов: исходные данные должны соответствовать реальным диапазонам характеристик наиболее широко применяемых измерительных преобразователей и приборов; решение задач не предполагает сложных и громоздких промежуточных преобразований и вычислений, т.к. главная цель – понимание студентами основных соотношений, принципов действия приборов, а также техники, методологии и методики проведения измерений; в формулировках задач присутствуют элементы технического творчества, необходимые для развития самостоятельного мышления студентов.

1 ТЕРМОМЕТРЫ И ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В пищевых производствах измерение и регулирование температуры очень важно, т.к. в подавляющем большинстве технологических процессов применяется или нагрев, или охлаждение сырья, полуфабрикатов, тары. Достаточно часто при обработке сырья оно самопроизвольно изменяет свою температуру, которую необходимо контролировать и удерживать в определенном диапазоне, т.к. в противном случае может возрасти количество бракованной продукции и отходов.

В соответствии с системой СИ для измерения температуры используется абсолютная термодинамическая шкала Кельвина. Градусы температуры по этой шкале отсчитываются от абсолютного нуля, который ниже точки таяния льда на 273,16 К. Наряду с этим принята международная практическая температурная шкала МПТШ-68, основанная на шкале Цельсия. Таким образом, значения температуры в градусах Кельвина на 273,16 больше значений в градусах Цельсия (в инженерных расчетах принимают $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$). Большинство современных термометров имеет шкалу в градусах Цельсия, но в расчетах чаще применяются градусы Кельвина.

В пищевых производствах наиболее часто применяется три группы промышленных термометров: термометры расширения, термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления.

1.1 Термометры расширения действуют на основании способности жидкостей и газов изменять свой объем, а твердых тел – размеры при изменении температуры. Термометры расширения представляют собой цельное устройство, снабженное шкалой, предназначенной для визуального наблюдения за температурой. Термометры бывают жидкостные, дилатометрические и манометрические.

1.1.1 Жидкостный термометр расширения состоит из резервуара, заполненного жидкостью (ртуть, спирт), капиллярной трубки и шкалы, которая наносится или вкладывается в стеклянную трубку (рис. 2, а). Объем жидкости меняется в зависимости от температуры

$$V = V_0 \cdot [1 + \alpha_v \cdot (T - T_0)] \quad (1)$$

где V и V_0 – объемы жидкости при температурах T и T_0 , м³;
 α_v – коэффициент объемного расширения жидкости, 1/К.

Показания жидкостных термометров расширения определяются не только температурой измеряемой среды, но и температурой выступающей части, которая находится в контакте с окружающей средой. Поправку на выступающий столбик ΔT подсчитывают по формуле

$$\Delta T = \alpha_v \cdot (T - T_{в.с.}) \cdot n^{\circ} \quad (2)$$

где $T_{в.с.}$ – температура выступающего столбика, $^{\circ}\text{C}$;
 n° – число градусов в выступающем столбике.

1.1.2 Дилатометрический термометр расширения действует на основании использования теплового линейного расширения твердых тел (стержней, пластинок, спиралей) (рис. 2, б):

$$2l = l_0 \cdot [1 + \alpha_l \cdot (T - T_0)] \quad (3)$$

где l и l_0 – линейные размеры при температурах T и T_0 , м;
 α_l – коэффициент линейного расширения, 1/К.

Перемещение стержня с большим коэффициентом линейного расширения передается через рычажную передачу указательной стрелке. Относительное перемещение стрелки Δl , вызванное изменением температуры, находят по формуле

$$\Delta l = K \cdot l_0 \cdot \alpha_l \cdot \Delta T, \quad (4)$$

где K – отношение плеч рычага;
 l_0 – начальная длина стержня, м;
 ΔT – изменение температуры, К.

1.1.3 Манометрический термометр состоит из чувствительного элемента – термобаллона, погруженного в измерительную среду, капиллярной трубки и указателя с пружинной системой (рис. 2, в). Все элементы соединены герметично, вследствие чего внутренняя полость термометра представляет собой замкнутое пространство, заполненное газом или жидкостью. При нагревании термобаллона в системе создается давление, которое вызывает перемещение механизма указателя.

В газовых термометрах термобаллон заполнен азотом, аргоном или гелием, и зависимость давления от температуры определяется выражением

$$p = p_0 \cdot [1 + \alpha_V \cdot (T - T_0)] \quad (5)$$

где p и p_0 – давление газа (или жидкости) при температурах T и T_0 , Па;
 α_V – коэффициент объемного расширения, 1/К; для газов $\alpha_V = 1/273$.

Для снижения влияния атмосферного давления на показания прибора в термосистеме создается давление не более 5 МПа. Колебания температуры окружающего воздуха вызывают погрешности измерения. Погрешности от нагревания манометрической пружины ΔT_m и капиллярной трубки ΔT_k определяются по формулам

$$\Delta T_m = \left(\frac{V_m}{V_0} \right) \cdot (T_m - T_0) \quad \text{и} \quad (6)$$

$$\Delta T_k = \left(\frac{V_k}{V_0} \right) \cdot (T_k - T_0)$$

где V_m , V_0 , V_k – объемы соответственно манометрической пружины, термобаллона и капиллярной трубки, м³;

T_m , T_k , T_0 – температуры пружины, трубки и окружающей среды, К.

В жидкостных термометрах термобаллон заполнен ртутью или другой термометрической жидкостью. Избыточный объем жидкости, вытесняемой из термобаллона,

$$\Delta V = (1 - 3 \cdot \alpha_{тб}) \cdot (T - T_0) \cdot V_0, \quad (7)$$

где $\alpha_{тб}$ – коэффициент объемного расширения материала термобаллона, 1/К;
 V_0 – объем жидкости при температуре T_0 , м³.

Шкала как газовых, так и жидкостных термометров расширения линейная, но у жидкостных ниже тепловая инерционность, чем у газовых.

Недостаток всех перечисленных термометров расширения – сложность преобразования температуры в электрический сигнал. Поэтому в автоматических системах чаще применяются термоэлектрические преобразователи и термометры сопротивления.

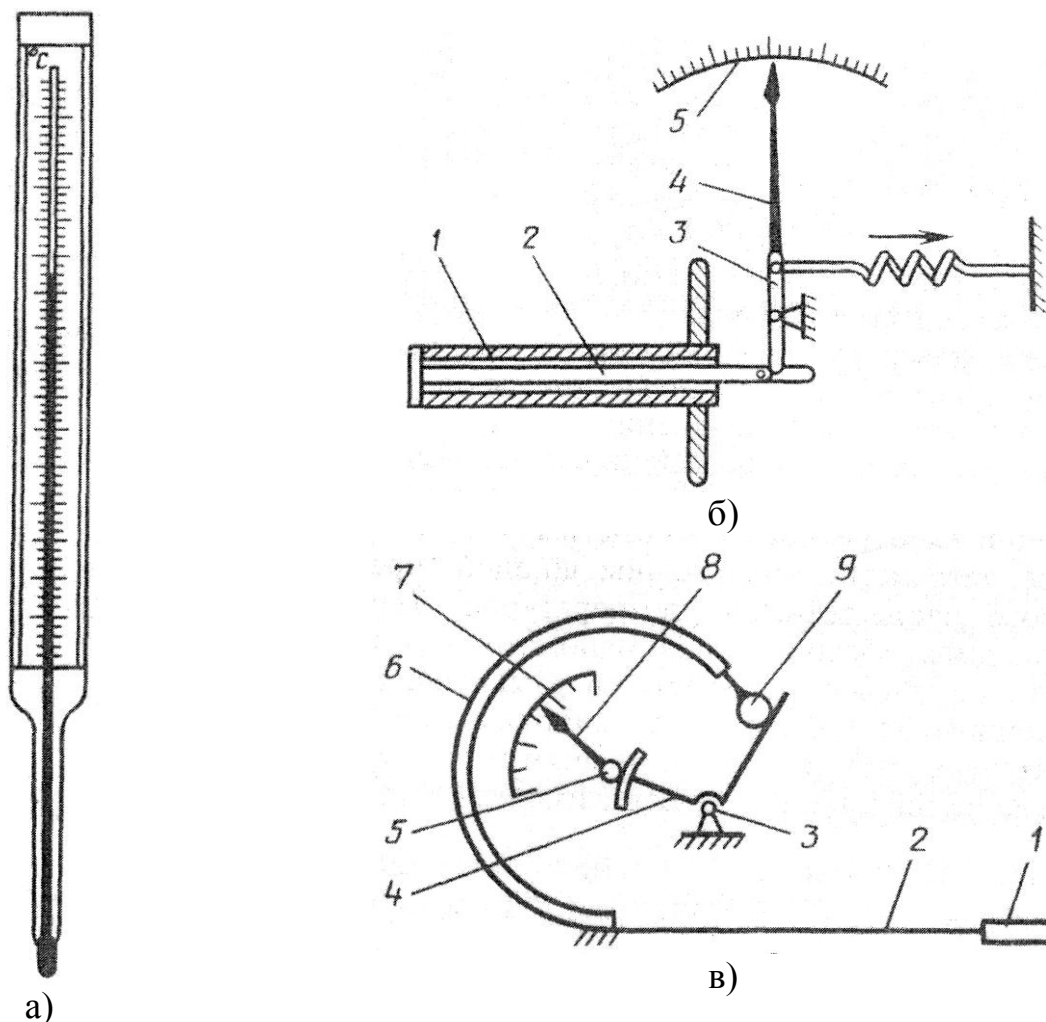


Рис. 2. Термометры расширения:

- а* – жидкостные; *б* – дилатометрические: 1 – термочувствительный корпус; 2 – стержень; 3 – рычаг; 4 – стрелка; 5 – шкала;
в – манометрические: 1 – термобаллон; 2 – дистанционный капилляр; 4 – сектор с червяком; 5 – трубка с шестерней; 6 – упругий термочувствительный элемент; 7 – шкала; 8 – стрелка; 9 – кулачок

1.2 Термоэлектрический преобразователь (термопара) действует на основании возникновения термоЭДС E в цепи, состоящей из двух разнородных проводников, при наличии разности температур T и T_0 соединений их концов

$$E_{T, T_0} = f T - f T_0 . \quad (8)$$

Обычно одно из соединений термопары (холодный спай) находится в среде с постоянной температурой, а другое (горячий спай) – в исследуемой среде. За-

висимость $f(T)$ близка к линейной и определяется материалами проводников термоэлектрической цепи. Для расчетов используют градуировочные таблицы значений $E(T, T_0)=f(T)$ при $T_0=0$ °С, которые приведены в приложении 1.

Обычно измерения проводят в окружающей среде, температура которой отличается от 0 °С, поэтому необходимо вводить поправку на температуру холодных спаев. Ее можно рассчитать по формуле

$$T_{ист} = T_u + k \cdot (T_x - T_0) \quad (9)$$

где $T_{ист}$ и T_u – истинные и измеренные значения температуры, К;

T_x и T_0 – температуры холодных спаев при измерении и градуировке, К ($T_0=273$ К);

k – поправочный коэффициент, значения которого для различных диапазонов температур приведены в приложении 1.

ТермоЭДС измеряют с помощью милливольтметров и потенциометров. В первом случае (рис. 3, а) напряжение на выводах милливольтметра связано с термоЭДС соотношением

$$U_{ав} = \frac{E(T, T_0)}{\left(1 + \frac{R_{вн}}{R_v}\right)} \quad (10)$$

где R_v – внутреннее сопротивление вольтметра, Ом;

$R_{вн}$ – сопротивление измерительной цепи, в которое входит сопротивление термопары, соединительных проводов, контактов, Ом.

Во втором случае (рис. 3, б) используют метод уравнивания термоЭДС известным напряжением. Вначале обеспечивается постоянство тока в цепи потенциометра R_p . Для этого переключатель ставят в положение K и с помощью переменного резистора R добиваются нулевого значения на шкале измерительного прибора PA , что соответствует току $I=E_{нэ}/R_{нэ}$ в ветви ac ($E_{нэ}$ – ЭДС нормального элемента электрической батареи, которая длительное время вырабатывает практически неизменную ЭДС 1,0183 В). Затем переключатель переводят в положение $И$ и добиваются нуля в цепи PA с помощью потенциометра R_p , что соответствует равенству разности потенциалов между точками b и d , т.е.

$$E(T, T_0) = I \cdot R_{bd} = E_{нэ} \cdot \frac{R_{bd}}{R_{нэ}} \quad (11)$$

Так как $E_{нэ}$ и $R_{нэ}$ – величины постоянные, то измерение сводится к определению сопротивления R_{bd} , а подвижный контакт потенциометра R_p непосредственно связан со шкалой температуры.

При измерении температуры с помощью термопар не требуются дополнительные источники питания. К недостаткам этих приборов относятся низкая чувствительность и необходимость учитывать температуру холодных спаев.

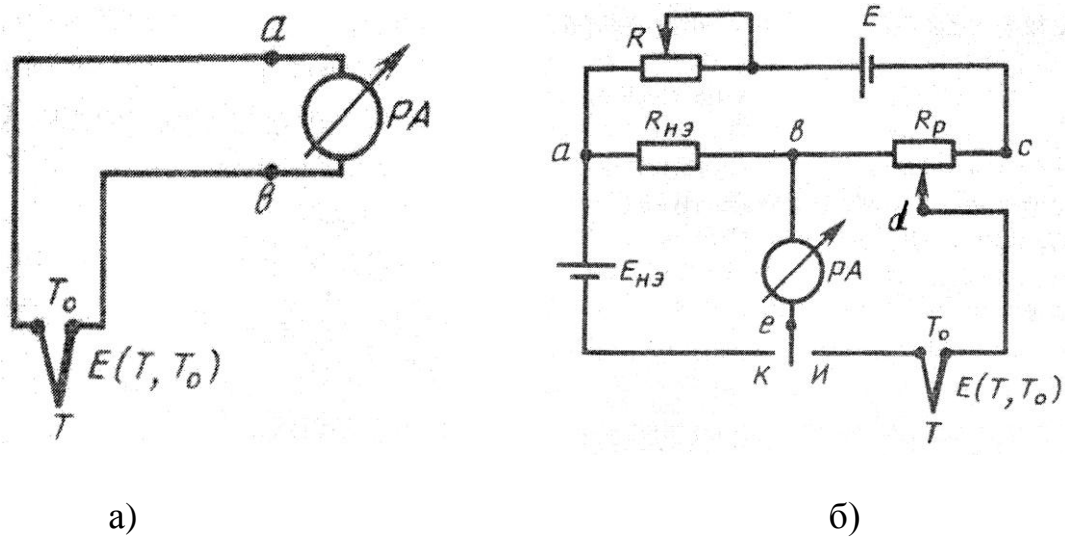


Рис. 3. Схемы измерения термоЭДС:
 а - милливольтметром; б - потенциометром

1.3 Термопреобразователи сопротивления (терморезисторы) служат для непосредственного преобразования температуры в параметр электрической цепи. Они бывают проволочные и полупроводниковые.

1.3.1 Проволочные терморезисторы характеризуются следующими зависимостями сопротивления от температуры:

- платиновые в диапазоне от 273 К до 923 К

$$R_T = R_0 \cdot \left(+ \alpha_T \cdot \Delta T - \alpha_B \cdot \Delta T^2 \right); \quad (12)$$

где α_T и α_B – температурные коэффициенты сопротивления;

$\alpha_T = 3,97 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K};$
 $\alpha_B = 5,85 \cdot 10^{-7} \text{ 1/K}^2;$

- медные в диапазоне от 223 К до 453 К

$$R_T = R_0 \cdot \left(+ \alpha_T \cdot \Delta T \right); \quad (13)$$

где $\alpha_T = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}.$

Сопротивление R_0 градуируют при 273 К. Для более точных измерений используют специальные таблицы для промышленных проволочных резисторов основных типов (приложение 2).

Для измерения сопротивления терморезисторов используют уравновешенные и неуравновешенные мосты, а также логометры.

Схема уравновешенного моста приведена на рисунке 4, а. В одно из плеч моста включен термочувствительный элемент R_T (ТСМ, ТСП или полупроводниковый терморезистор). Питание от источника напряжения GB подключено к одной из диагоналей моста; в другую включен измерительный прибор. Если мост уравновешен, то ток в измерительной диагонали равен нулю, что достигается при соотношении сопротивлений плеч $R_3 = R_T \cdot (R_2 / R_1)$.

Принцип измерения температуры состоит в том, что при изменении сопротивления R_T с помощью переменного резистора R_3 добиваются равновесия мо-

ста. Таким образом, указатель шкалы связан с подвижным контактом переменного резистора R_3 , причем характер шкалы полностью соответствует температурной характеристике термочувствительного элемента. Измерительный прибор PA служит в качестве нуль-индикатора, а шкала переменного резистора отградуирована в $^{\circ}C$. К преимуществам уравновешенной схемы относится независимость точности измерения от колебаний напряжения источника, что важно при использовании батарей или аккумуляторов. Недостаток схемы – необходимость ручной настройки шкалы при измерении.

Схема неуравновешенного моста приведена на рисунке 4, б. Равновесие моста обеспечивается при настройке в одной точке температурного диапазона измерения (обычно в его начале), а при разбалансе моста определяют ток в измерительной диагонали

$$I = U_{ав} \cdot \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_T}{R_2 \cdot R_3 \cdot R_1 + R_T} \quad (14)$$

В этом случае шкала измерительного прибора PA отградуирована в $^{\circ}C$, но она нелинейно связана с температурной характеристикой термочувствительного элемента, так как величина R_T входит в числитель и знаменатель выражения (14). Шкала приблизительно линейна при небольших изменениях температуры и более сжата к концу температурного диапазона. Кроме того, точность измерения существенно зависит от напряжения $U_{ав}$. Чтобы обеспечить его постоянство, используется переменный резистор R_p , который настраивают после переключения измерительной цепи на контрольный резистор R_k . Сопротивление R_k соответствует значению сопротивления R_T при некоторой температуре, которая на шкале отмечена красным. При переключении на сопротивление R_k указатель PA должен устанавливаться на этой метке. Таким образом, при использовании неуравновешенной схемы измерения необходимо обеспечить стабильность напряжения моста.

Схема измерения сопротивления с использованием логометров лишена этого недостатка (рис. 4, в). Указатель прибора перемещается пропорционально отношению токов в двух измерительных катушках, которые подключаются в измерительную диагональ моста. Для измерения угла полного отклонения подвижной системы при настройке используется резистор R_4 , а для температурной компенсации измерительных катушек – резистор R_5 .

1.3.2 Полупроводниковые терморезисторы обладают более высокими значениями сопротивления и чувствительностью по сравнению с проволочными.

Сопротивление полупроводниковых терморезисторов зависит от температуры

$$R_T = R_{T_0} \cdot \exp\left(\frac{B_T}{T} - \frac{B_T}{T_0}\right), \quad (15)$$

где R_T и R_{T_0} – сопротивление терморезистора при температурах T и T_0 , кОм;
 B_T – температурный коэффициент, зависящий от свойств полупроводникового материала, К.

Температурный коэффициент сопротивления таких резисторов α_T (1/К) зависит от температуры и имеет отрицательный знак, т.е. сопротивление полупроводниковых резисторов, в отличие от проволочных, уменьшается при увеличении температуры. Значение α_T определяют по формуле

$$\alpha_T = \frac{-B_T}{T^2}. \quad (16)$$

Вольт-амперная характеристика полупроводниковых терморезисторов имеет точку максимума по напряжению, что позволяет использовать их также в схемах сигнализаторов температуры. Для расчетов удобно пользоваться безразмерной вольт-амперной характеристикой терморезисторов типов КМТ и ММТ (приложение 3). При нахождении характеристики конкретного терморезистора должны быть известны значения напряжения и тока в точке максимума

$$I = I_M \cdot x, \quad U = U_M \cdot y. \quad (17)$$

Линейный участок при небольших токах используется для измерения температуры, точка максимума – в термореле, а участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением при большом нагреве рабочего тела – для измерения влажности, давления, скорости и т.д.

Нелинейность вольт-амперных характеристик как полупроводниковых, так и проволочных терморезисторов определяется повышением температуры рабочего тела за счет нагревания протекающим током

$$T_p = T + \frac{U \cdot I}{b}, \quad (18)$$

где b – коэффициент рассеивания, учитывающий все виды отвода теплоты, Вт/К;

T – температура среды, К;

U – напряжение на терморезисторе, В;

I – ток, текущий по терморезистору, А.

Коэффициент b зависит от конструкции терморезистора и условий окружающей среды.

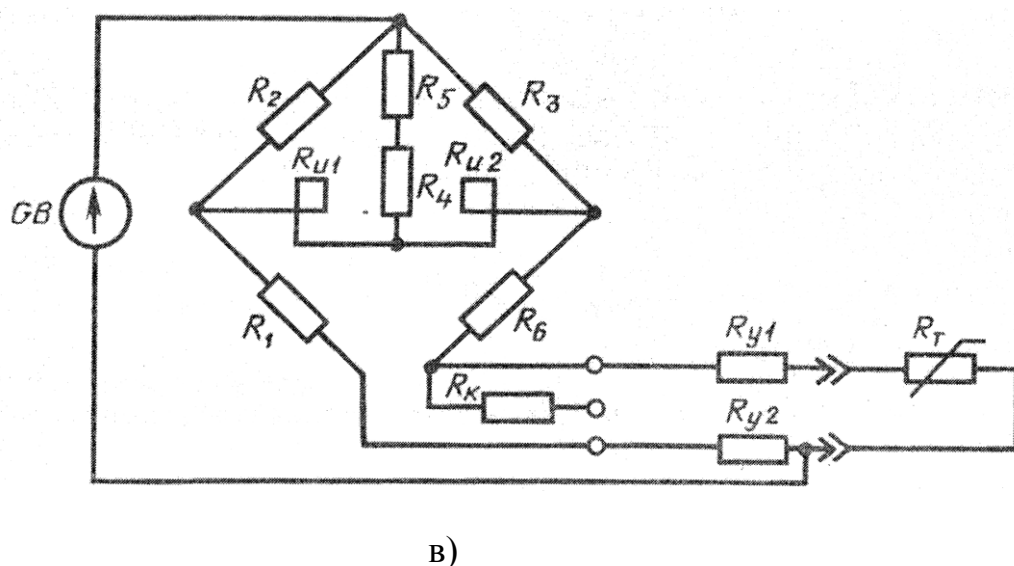
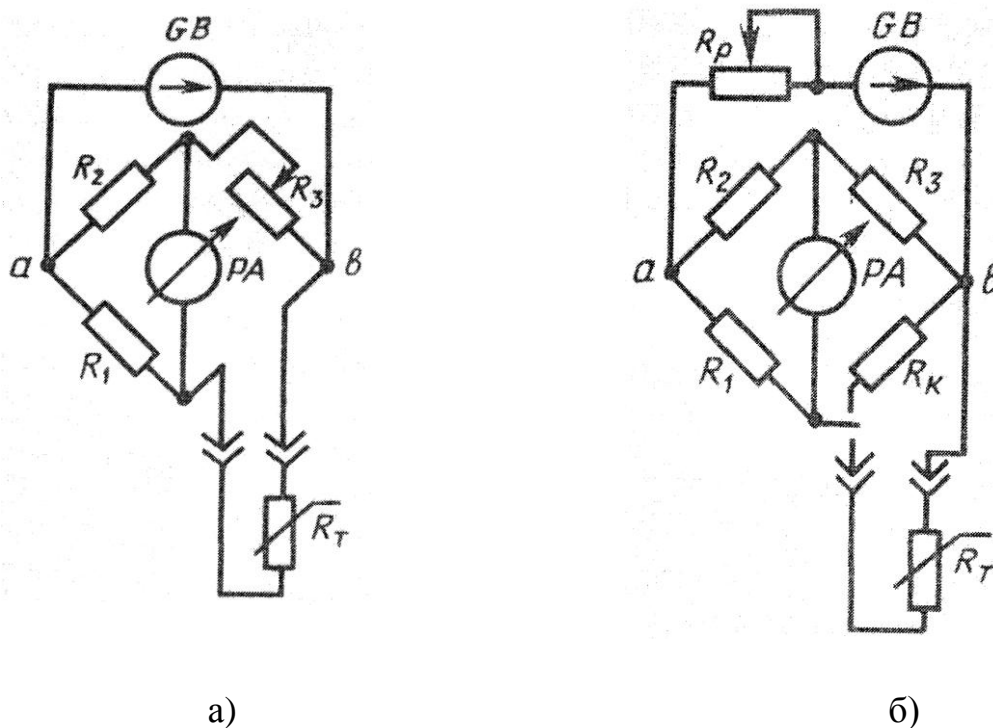


Рис. 4. Измерение сопротивления с помощью:
 а – уравновешенного моста; б – неуравновешенного моста; в – логометра

Тепловая инерционность преобразователей объясняется наличием определенной массы и теплового контакта со средой, в результате чего температура рабочего тела меняется не мгновенно. Обычно изменение температуры рабочего тела происходит по экспоненциальной зависимости

$$\Delta T_p = \Delta T \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (19)$$

где ΔT – изменение температуры среды, К;

τ – постоянная времени, зависящая от внешних условий, с.

Тепловую инерционность и нагревание рабочего тела терморезисторов необходимо учитывать при выборе электрических и тепловых режимов работы.

В современной измерительной технике применяются также термопреобразователи с полупроводниковыми термочувствительными элементами (диоды, транзисторы, тиристоры). Они характеризуются небольшими размерами и тепловой инерционностью, широким диапазоном выбора параметров. Кроме того, при сохранении их функционального назначения в электронных схемах можно получать термопреобразователи с непосредственным преобразованием температуры в частоту и амплитуду импульсов, в цифровой сигнал.

1.4 Задачи

1. При температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ объем ртути в капиллярной трубке диаметром $0,5\text{ мм}$ составляет 20 мм^3 . Найти объем ртути при температурах 0 ; 35 и $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, если коэффициент объемного расширения ртути $1,72 \cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$.

2. Термометр, рассчитанный на измерение температуры от -10 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, снабжен шкалой длиной 110 мм . Найти значения температуры, которые показывает термометр при высоте столбика 10 ; 30 ; 50 мм относительно начала шкалы.

3. При изменении температуры на 40 К относительное изменение высоты столбика ртутного термометра составляет $1,02$ по сравнению с первоначальным. При каком изменении температуры оно будет $1,08$, если коэффициент объемного расширения $1,72 \cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$?

4. Определить массу ртути, необходимую для заполнения термометра с резервуаром в виде шарика диаметром 3 мм и капиллярной трубкой длиной 50 мм , диаметром 1 мм . Плотность ртути при максимальной температуре измерения принять 14 г/см^3 .

5. Температуру в установке измеряют с помощью технического термометра класса точности 1 со шкалой $0-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Его показание $52\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить, соответствует ли термометр своему классу точности, если действительное значение температуры $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. Капиллярная трубка технического термометра длиной 50 мм , диаметром 1 мм выполнена с допуском на диаметр $\pm 0,01\text{ мм}$. Определить вызванную этим погрешность измерения температуры, если цена деления шкалы термометра $1\text{ }^{\circ}\text{C/мм}$.

7. Лабораторный термометр, заполненный спиртом ($\alpha_v=0,5\%/K$), показывает по шкале $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом он погружен в измеряемую среду от отметки $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура выступающей части составляет $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найти действительную температуру в измеряемом объеме.

8. До какой отметки необходимо погружать термометр (см. рис. 2, а) в измеряемую среду с температурой $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре окружающей среды $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы погрешность измерения не превышала $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$? Коэффициент объемного расширения жидкости $0,2\%/K$.

9. При транспортировании или резких встрясках ртутных термометров столбик в капиллярной трубке может разорваться. Каким простым способом устраняют эту неисправность?

10. Стекланный ртутный термометр рассчитан на измерение температуры до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как температура кипения ртути равна $356,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Каким конструктивным способом удастся обеспечить работоспособность термометра?

11. При температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ линейный размер латунного стержня равен 50 мм . Найти длину стержня при температурах 150 ; 300 и $621\text{ }^{\circ}\text{C}$, если коэффициент линейного расширения латуни $\alpha_l=0,2\cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$.

12. Каким должен быть рабочий ход стержня длиной 100 мм латунного термометра расширения (рис. 2, б) со шкалой $-100\div-500\text{ }^{\circ}\text{C}$? Коэффициент линейного расширения принять $0,2\cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$.

13. При увеличении перепада температур на $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительное изменение длины стержня равно 1% от первоначального значения l_0 . Найти коэффициент линейного расширения материала стержня.

14. При температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ длина латунного стержня ($\alpha_l=0,189\cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$) составила 100 мм . Найти абсолютную и относительную погрешности измерения температуры $220\text{ }^{\circ}\text{C}$, возникающие в результате влияния теплового расширения трубки ($\alpha_t=0,009\cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$), относительно которой перемещается конец стержня.

15. Длина указателя дилатометрического термометра равна 150 мм , а расстояние от ее точки крепления до латунного стержня ($\alpha_l=0,2\cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$) равно 15 мм . Найти цену деления и чувствительность термометра, если начальная длина стержня $l_0=50\text{ мм}$.

16. Выбрать соотношение плеч рычага дилатометрического термометра с диапазоном измерения $-100\div-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ так, чтобы его шкала имела линейный размер 60 мм . В термометре используется латунный стержень длиной $l_0=100\text{ мм}$ ($\alpha_l=0,2\cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$).

17. Перемещение свободного конца стержня термометра длиной 50 мм ($\alpha_l=0,2\cdot 10^{-4}\text{ 1/K}$) при его нагревании на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ вызывает растяжение противодействующей пружины жесткостью $20\text{ Н}\cdot\text{м/мм}$ на 2 мм . Найти усилие, создаваемое стержнем.

18. Исходя из свойств материалов, применяемых в дилатометрических термометрах, пояснить, почему они практически не используются при измерении температуры химически активных жидкостей.

19. При температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ давление в термосистеме газового манометрического термометра равно $2,5\text{ МПа}$. Найти давление в термосистеме при температурах -100 , 200 и $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

20. На какие давления должна быть рассчитана термосистема жидкостного манометрического термометра со шкалой от $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, если при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ давление $1,5\text{ МПа}$, а коэффициент объемного расширения $\alpha_v=0,2\%/K$?

21. Найти начальный перепад температур термобаллона, если при его увеличении на 100 К давление в термосистеме газового манометрического термометра увеличилось в 2 раза.

22. Определить общую массу ртути, необходимую для заполнения манометрического термометра (рис. 2, в): с термобаллоном диаметром 16 мм, длиной 200 мм; с капиллярной трубкой длиной 2,5 м, диаметром 0,5 мм; с манометрической пружиной длиной 100 мм, диаметром 2 мм. Плотность ртути принять $13,8 \text{ г/см}^3$.

23. Определить абсолютную и относительную погрешности манометрического термометра, вызванные изменением атмосферного давления от 760 до 730 мм рт. ст. Шкала прибора отградуирована от 0 до 100 °С, что соответствует давлениям в термосистеме от 500 до 700 кПа. Показание прибора 50 °С.

24. Определить погрешность, вызванную тем, что манометрическая пружина расположена на 2 м выше, чем термобаллон. Шкала термометра отградуирована от 100 до 500 °С, что соответствует давлениям в термосистеме от 1 до 8 МПа. Термосистема прибора заполнена ртутью ($\rho_V=13,8 \text{ г/см}^3$).

25. Градуировка манометрического термометра проведена при температуре среды 20 °С. Объемы термобаллона, манометрической пружины и капиллярной трубки соответственно равны $V_\theta=120 \text{ см}^3$, $V_M=8 \text{ см}^3$ и $V_K=5 \text{ см}^3$. Определить погрешности измерения, если $T_M=40 \text{ °С}$, $T_K=30 \text{ °С}$.

26. Рассчитать общий объем манометрической пружины и капиллярной трубки, если погрешность, вызванная изменением температуры среды на 25 °С от градуировочного значения, не превышает 2,5%. Шкала термометра 0-100 °С, объем термобаллона 100 см³.

27. Объем газового манометрического термометра при градуировочной температуре 20 °С составляет 250 см³. Определить погрешность измерения температур 0 и 40 °С, вызванную влиянием теплового расширения материала термобаллона ($\alpha_{\text{тб}}=0,2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/К}$).

28. Дать краткую сравнительную характеристику газовых и жидкостных манометрических термометров, исходя из свойств применяемых в них газов и жидкостей.

29. Рассказать об особенностях использования твердых абсорбентов, например активированного угля, в термосистемах конденсационных манометрических термометров. Пояснить применение этих приборов в холодильных установках.

30. Для какой цели зазор между корпусом и защитной гильзой резервуара жидкостных термометров, а также термобаллона манометрических приборов заполняется медными опилками или минеральным маслом?

31. Найти значение термоЭДС для термопары типа ТПП при температурах измеряемой среды $T=50; 80 \text{ и } 90 \text{ °С}$. Температура холодных спаев 0 °С.

32. Измеренные значения термоЭДС для термопары типа ТХА при температуре холодных спаев $T_0=0 \text{ °С}$ составили 5,2; 7,8; 8 мВ. Найти значение температуры контролируемой среды.

33. Найти значения температурной чувствительности термопары типа ТХК в диапазонах температур: от 0 до 100 °С; от 100 до 200 °С; от 200 до 300 °С. Построить график зависимости чувствительности от температуры.

34. Измеренное значение термоЭДС при температуре $T=150\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 1,1 мВ. Определить тип использованной термопары и погрешность нахождения термоЭДС $E(150, T_0)$ при $T_0=0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

35. При измерении температуры с помощью термопары типа ТХА термоЭДС равна 5,5 мВ при температуре холодных спаев $T_0=30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найти истинное и измеренные значения температуры.

36. До какой температуры окружающей среды, в которой расположены холодные спаи термопары типа ТПП, можно проводить измерение температуры в диапазоне от 100 до 200 $^{\circ}\text{C}$, с погрешностью измерения не выше 10 $^{\circ}\text{C}$?

37. Построить график зависимости $E(T, T_0)=f(T)$ для термопары типа ТХА в диапазоне от 0 до 600 $^{\circ}\text{C}$ при $T_0=0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как изменится график при температуре холодных спаев 20 $^{\circ}\text{C}$?

38. Термопару типа ТХК используют в диапазоне температур от 0 до 600 $^{\circ}\text{C}$. Найти значения термоЭДС $E(300, 100)$, $E(0, 100)$, $E(400, 200)$, если градуировка термопары проведена при $T_0=0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

39. Будет ли изменяться термоЭДС термопары, если температура контролируемой среды меняется, но разность температур горячего и холодного спаев остается неизменной?

40. При измерении температуры медной пластины горячий спай приварен к ней с помощью припоя. Изменится ли термоЭДС, если каждый электрод будет приварен к пластине отдельно на некотором расстоянии один от другого?

41. Перечислите материалы, которые используют в промышленных термопарах типа ТПП, ТХА и ТХК. Какие свойства определили их выбор для изготовления электродов термопар?

42. Термопара типа ТХА помещена в среду, температура которой меняется от 50 до 100 $^{\circ}\text{C}$. Определить изменение напряжения на выводах милливольтметра (рис. 3, а) с внутренним сопротивлением $R_v=150\text{ }\Omega$, если сопротивление измерительной цепи $R_{\text{вн}}=15\text{ }\Omega$, а температура холодных спаев равна градуировочной.

43. Напряжения на выводах милливольтметра 0,8; 1,0; 1,2 мВ при подключении к термопаре типа ТПП по схеме на рис. 3, а. Определить значение температуры среды, если $R_{\text{вн}}=25\text{ }\Omega$, $R_v=200\text{ }\Omega$, а температура холодных спаев 0 $^{\circ}\text{C}$.

44. Милливольтметр снабжен шкалами для измерения напряжения 0-10 мВ и температуры 0-100 $^{\circ}\text{C}$. Он отградуирован при сопротивлениях $R_v=150\text{ }\Omega$ и $R_{\text{вн}}=15\text{ }\Omega$. Определить систематическую погрешность измерения при подключении термопары с $R_{\text{вн}}=10\text{ }\Omega$.

45. Изменятся ли термоЭДС и напряжение на выводах милливольтметра в схеме на рисунке 3, а, если соединительные провода заменить на провода большего сечения?

46. Внутреннее сопротивление милливольтметра со шкалами напряжения 0-10 мВ и температуры 0-100 $^{\circ}\text{C}$ составляет 200 Ω . Определить систематическую погрешность при температуре холодных спаев термопар ТПП, ТХА и ТХК $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, если сопротивление измерительной цепи во всех случаях соответствует градуировочному.

47. Сколько термопар типа ТХА необходимо включить последовательно, чтобы при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ток в цепи милливольтметра с $R_v=200\text{ }\Omega$ был не менее $0,1\text{ mA}$? Внутреннее сопротивление каждой термопары $R_{\text{вн}}=5\text{ }\Omega$, сопротивление соединительных проводов и контактов $10\text{ }\Omega$.

48. Рассказать об основных практических способах термостатирования холодных спаев термопар при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В каких случаях термостатирование предпочтительнее, чем термокомпенсация спаев?

49. При температуре окружающей среды $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ милливольтметр с внутренним сопротивлением $R_v=150\text{ }\Omega$, подключенный к измерительной цепи термопары с $R_{\text{вн}}=15\text{ }\Omega$, показывает 25 mV . Как изменится показание милливольтметра, если температура среды, в которой он находится, увеличится до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$? Рамка милливольтметра выполнена из меди ($\alpha_T=0,4\%/K$).

50. ТермоЭДС, истинное значение которой равно 10 mV , измерена при помощи милливольтметра с внутренним сопротивлением $R_v=150\text{ }\Omega$. Определить его показание, если сопротивление термопары $10\text{ }\Omega$. Сопротивлением соединительных проводов пренебречь. Каким должно быть сопротивление проводов, чтобы напряжение изменилось не более чем на $0,5\text{ mV}$?

51. При установке милливольтметра на расстоянии от термопары (см. рис. 3, а) используют термоэлектродные соединительные провода. Рассказать об их назначении и о требованиях по выбору их материала.

52. Температура холодных спаев типа ТПП $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура в точках подсоединения милливольтметра $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить погрешность из-за влияния температуры холодных спаев при использовании медных и термоэлектродных соединительных проводов. Температура контролируемой среды меняется от 0 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

53. В каких случаях замена термоэлектродных проводов на медные не приводит к изменению показаний милливольтметра в цепи на рис. 3, а?

54. На рис. 5 приведена мостовая схема компенсации температуры холодных спаев. Одинаковы ли значения сопротивления R_p для термопар типа ТПП, ТХА и ТХК при одинаковых условиях применения измерительной цепи?

55. Термокомпенсацию холодных спаев термопар проводят (рис. 5) при определенной температуре T_0 . Будет ли происходить компенсация промышленных термопар при других значениях T_0 ? Поясните условие полной термокомпенсации во всем температурном диапазоне.

56. В диапазоне температур от 0 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ напряжение U_{cd} мостовой схемы (рис. 5) линейно меняется от $0,1$ до $0,4\text{ mV}$. Определить, при какой температуре холодных спаев возможна полная компенсация термопары типа ТПП.

57. В схеме измерения термоЭДС с помощью потенциометра (рис. 3, б) используют эталонный нормальный элемент $E_{\text{нэ}}=1,0183\text{ В}$ и резистор $R_{\text{нэ}}=5\text{ k}\Omega$. Определить значения термоЭДС, если уравновешивание произошло при сопротивлениях, равных $200, 500, 800\text{ }\Omega$.

58. Температуру среды в диапазоне от 50 до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ измеряли с помощью термопары типа ТПП с $T_0=0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить, в каких пределах менялось сопротивление резистора R_p в потенциометрической схеме (рис. 3, б), если $R_{\text{нэ}}=10\text{ k}\Omega$ и $E_{\text{нэ}}=1,0183\text{ В}$.

59. Какое сопротивление R_p должно быть (рис. 3, б) у потенциометра при измерении температуры от 0 до 100 °С с помощью термопар типа ТПП, ТХА и ТХК, если $E_{нэ}=1,0183$ В и $R_{нэ}=5$ кОм?

60. Шкала напряжения потенциометра 0-10 мВ, цена деления 0,1 мВ. Определить, с каким минимальным шагом должно меняться его сопротивление в схеме на рис. 3, б, если $E_{нэ}=2,037$ В и $R_{нэ}=10$ кОм.

61. С изменением температуры среды ЭДС нормального элемента уменьшилась с 1,0183 до 1,01 В (рис. 3, б). Определить вызванную этим погрешность измерения температуры 100 °С с помощью термопары типа ТХК, если $R_{нэ}=5$ кОм, а цена деления потенциометра 5 °С/Ом. Каким образом можно компенсировать эту погрешность?

62. Для приведенной на рис. 6 схемы автоматического потенциометра зависимость угла поворота указателя от температуры определяется по формуле $\alpha = \frac{\Delta E \cdot \alpha_M \cdot T}{100 \cdot E_M}$, где ΔE – изменение термоЭДС при изменении температуры на 100 °С; α_M и E_M – значения угла поворота и термоЭДС на конечной отметке шкалы, Найти значения угла поворота указателя при температурах $T=10$; 100 и 150 °С, если выбрана термопара типа ТПП и шкала отградуирована от 0 до 200 °С ($\alpha_M=180$).

63. Для автоматической компенсации погрешности от влияния температуры холодных спаев в качестве резистора из R_3 (рис. 6) используют терморезистор, сопротивление которого увеличивается с ростом температуры. Пояснить указанный принцип термокомпенсации.

64. Для измерения температуры использован автоматический потенциометр (рис. 6) класса точности 0,5 с ценой деления шкалы 20 °С /мВ. Найти наибольшие абсолютные погрешности измерения напряжения и температуры. Диапазон измерения 200-600 °С, тип термопары ТХА.

65. Определить критическое значение порога чувствительности для электронного усилителя автоматического потенциометра (рис. 6) со шкалой 0-600 °С и числом витков резистора $R=100$ при использовании термопары типа ТПП.

66. Какие показания будут на шкале автоматического потенциометра (рис. 6) при коротком замыкании холодных спаев термопары? В каком случае происходит смещение нуля шкалы потенциометра?

67. При поверке автоматического потенциометра (рис. 6) со шкалой 0-500 °С и термопарой типа ТХА обнаружено, что указатель смещен на 10 °С выше нулевой отметки. Как учесть эту погрешность, если потенциометр показал температуру 250 °С?

68. Пояснить, почему все постоянные резисторы в схемах измерительных потенциометров на рисунках 3, б и 6 выполнены из манганиновой проволоки.

69. Указать на преимущества и недостатки термопар из полупроводниковых материалов по сравнению с металлическими.

70. Найти значения сопротивления платинового терморезистора при температурах измеряемой среды $T=50$; 100; 150 °С, если при $T=0$ °С $R_{T_0}=100$ Ом.

71. Измеренные значения сопротивления платинового терморезистора градуировки 21 составили 40; 50 и 70 Ом. Найти значение температуры контролируемой среды.

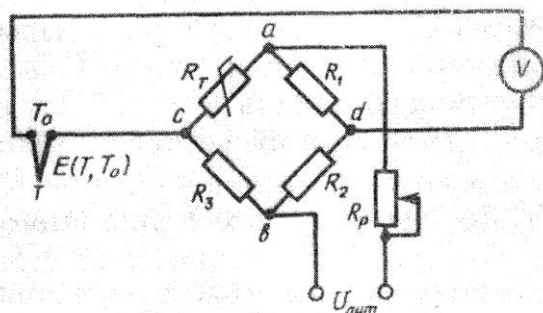


Рис. 5. Мостовая схема компенсации температуры холодных спаев (к задачам 54÷56)

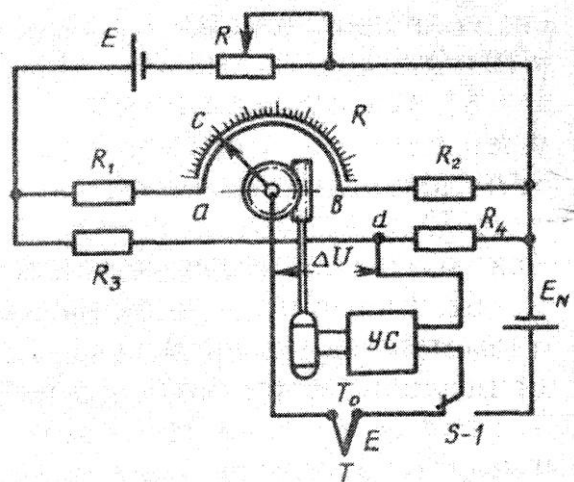


Рис. 6. Схема автоматического потенциометра (к задачам 62÷68)

72. В диапазоне температур от 0 до 100 °С расчет сопротивления платинового терморезистора проведен по упрощенной формуле (12), т.е. при $\alpha_B=0$. Найти погрешность расчета для терморезистора градуировки 22 и температурах 50; 80 и 100 °С.

73. Найти значения температурной чувствительности платинового терморезистора градуировки 20 в диапазоне от -50 до 200 °С в точках шкалы через каждые 50 °С. Построить график зависимости чувствительности от температуры.

74. Измеренное значение сопротивления терморезистора при температуре $T=120$ °С составило 63 Ом. Определить его градуировку и погрешность нахождения температуры.

75. Найти значения сопротивления медного терморезистора при температурах измеряемой среды $T=25; 113; 146$ °С, если при $T_0=0$ °С $R_{T_0}=53$ Ом.

76. Измеренные значения сопротивления медного терморезистора градуировки 24 составляют 80; 120 и 150 Ом. Найти значения температуры контролируемой среды.

77. При изменении температуры на 100 °С сопротивление медного терморезистора увеличилось в 1,2 раза. Найти первоначальное и конечное значения температуры.

78. Сопротивление проволочного терморезистора при 25 °С составило 110 Ом, при 75 °С – 130 Ом. Найти температурный коэффициент сопротивления.

79. Сколько метров медной проволоки диаметром 0,1 мм необходимо для изготовления терморезистора градуировки 24? Удельное сопротивление меди при 0 °С равно $0,0176 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

80. Терморезистор градуировки 23 выполнен из медной проволоки, намотанной на виток к витку на керамический каркас диаметром 10 мм. Определить число витков и длину намотки, если диаметр проволоки 0,1 мм и удельное сопротивление меди $0,0176 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

81. Найти температурную чувствительность терморезисторов градуировок 22 и 24 при температурах 0; 50 и 100 °С. Какие терморезисторы характеризуются более линейной температурной характеристикой?

82. При температуре контролируемой среды $T=120$ °С измеренное значение сопротивления терморезистора градуировки 21 равно 68 Ом. Найти погрешность измерения температуры.

83. Терморезистор градуировки 23 выполнен с допуском на номинальное сопротивление $R_{T_0} = 53 \pm 0,1$ Ом. Оценить возможные погрешности измерения температуры 100 и 150 °С.

84. Разброс коэффициента α_T медных терморезисторов градуировки 24 находится в пределах 0,4...0,44 %/К. Определить возможные погрешности измерения температуры 50 °С.

85. В промышленных проволочных терморезисторах каркас с обмоткой помещают в цилиндрический кожух. Объяснить, для какой цели кожух заполняют порошком оксида алюминия.

86. Пояснить, каким конструктивным способом обеспечивается отсутствие индуктивности катушки терморезисторов при их использовании в цепях переменного тока.

87. Терморезистор какого типа (медный или платиновый) можно использовать при измерении температуры в трубопроводах и вибрирующих узлах технологических объектов?

88. В схеме измерения сопротивления с помощью уравновешенного моста (см. рис. 4, а) сопротивления плеч $R_2=10$ кОм и $R_1=1$ кОм. Определить полное сопротивление переменного резистора R_3 , если в качестве R_T применяется терморезистор градуировки 24, а температура меняется от -50 до +50 °С.

89. При измерении сопротивления с помощью схемы уравновешенного моста (рис. 4, а) сопротивления R_3 равны 640, 800 и 1200 Ом. Найти температуру контролируемой среды, если $R_2=800$ Ом, $R_1=100$ Ом, а в качестве R_T используется терморезистор градуировки 22.

90. Переменный резистор R_3 в схеме (рис. 4, а) характеризуется полным сопротивлением 330 Ом и шкалой 0-200 °С. Какое отношение сопротивлений R_2 и R_1 необходимо выбрать при использовании терморезисторов градуировок 20, 21 и 22?

91. Шаг переменного резистора R_3 равен 1 Ом. Определить минимальное изменение температуры контролируемой среды, которое можно измерить в уравновешенной схеме (рис. 4, а), при выборе терморезистора градуировки 21. Отношение $R_2/R_1=2$.

92. В качестве плеч уравновешенного моста (рис. 4, а) выбраны резисторы $R_1=1 \text{ кОм} \pm 5 \%$ и $R_2=5 \text{ кОм} \pm 5 \%$. Определить вызванную допусками на номинальную погрешность измерения температуры $T=50 \text{ }^\circ\text{C}$ с помощью терморезистора градуировки 24, если цена деления шкалы переменного резистора $0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Ом}$.

93. В схему уравновешенного моста (рис. 4, а) подключен терморезистор градуировки 23, причем сопротивление каждого соединительного провода $0,5 \text{ Ом}$. Определить вызванную этим погрешность измерения температуры, если сопротивление $R_3=250 \text{ Ом}$, а $R_2/R_1=5$.

94. Определить, какое наибольшее сопротивление соединительных проводов должно быть при подключении терморезистора градуировки 23, чтобы погрешность измерения температуры не превышала $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

95. Определить абсолютную погрешность измерения температуры терморезистором градуировки 23, если сопротивление соединительных проводов $4,5 \text{ Ом}$ вместо градуировочного значения 5 Ом . Как изменится эта погрешность при сопротивлении проводов $1,5 \text{ Ом}$ и градуировочном значении $0,5 \text{ Ом}$?

96. При температуре окружающей среды $20 \text{ }^\circ\text{C}$ сопротивление медных проводов соответствовало градуировочному значению 5 Ом . Найти погрешность, вызванную изменением их сопротивления при увеличении температуры до $40 \text{ }^\circ\text{C}$ в случае применения терморезистора градуировки 24.

97. Шкала переменного резистора уравновешенного моста (рис. 4, а) линейна от 0 до $220 \text{ }^\circ\text{C}$ и была отградуирована при конечных значениях температуры для терморезистора градуировки 22. Найти погрешность, связанную с нелинейностью температурной характеристики терморезистора при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$, если $R_2/R_1=5$.

98. В схеме неуравновешенного моста (рис. 4, б) сопротивления плеч $R_1=R_2=R_3=100 \text{ Ом}$, напряжение питания $U_{ab}=1,5 \text{ В}$. Найти ток измерительной диагонали терморезистора градуировки 24 при температурах $-50; 0; 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

99. Ток измерительной диагонали неуравновешенного моста (рис. 4, б) с $R_2=R_3=300 \text{ Ом}$ и $R_1=1 \text{ кОм}$ равен 40 мА при напряжении $U_{ab}=15 \text{ В}$. Найти температуру контролируемой среды, если используется терморезистор градуировки 22.

100. В качестве измерительного прибора в схеме (рис. 4, б) использован миллиамперметр со шкалой $0-10 \text{ мА}$, отградуированный от 100 до $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Сопротивление $R_1=330 \text{ Ом}$ и в качестве R_T используется терморезистор градуировки 21. Найти сопротивления резисторов R_2 и R_3 , чтобы отклонения указателя на границах диапазона соответствовали началу и концу шкалы. Напряжение питания моста $U_{ab}=15 \text{ В}$.

101. Шкала миллиамперметра в схеме (рис. 4, б) отградуирована от -50 до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$. Сопротивления плеч моста $R_2=320 \text{ Ом}$ и $R_3=40 \text{ Ом}$. Найти сопротивление R_1 , которое находится посередине, в том случае, когда температура $0 \text{ }^\circ\text{C}$ соответствует началу шкалы. В схему включен терморезистор градуировки 22, напряжение питания $U_{ab}=5 \text{ В}$. Построить график зависимости $I=f(T)$ в указанном диапазоне температур.

102. В качестве измерительного прибора в схеме неуравновешенного моста (рис. 4, б) использован миллиамперметр с линейной шкалой 0-10 мА, отградуированный от 0 до 100 °С. Настройку моста проводили при 0 °С с помощью резистора R_1 , при 100 °С – с помощью резистора R_p (т.е. напряжением U_{ab}). Найти значения R_1 и U_{ab} , если $R_2=400$ Ом, $R_3=50$ Ом и в качестве R_T использован терморезистор градуировки 24. Определить погрешность, связанную с нелинейностью характеристики при 50 °С.

103. Терморезистор градуировки 22 подключен через соединительные провода сопротивлением $R_l=0,5$ Ом к неуравновешенному мосту (рис. 4, б), причем $R_2=320$ Ом; $R_3=40$ Ом и $R_1=800$ Ом. Напряжение питания моста $U_{ab}=5$ В, цена деления шкалы миллиамперметра 0,1 мА/°С. Найти погрешность измерения, связанную с наличием сопротивления соединительных проводов при температуре 40 °С.

104. Из формулы (14) следует, что при $R_l \gg R_T$ шкала измерительного прибора близка к линейной. Записать выражение для шкалы в этом случае и найти ее температурную чувствительность. При каком соотношении R_1 и R_T относительная погрешность не будет превышать 5 %?

105. На рис. 7 приведена трехпроводная схема подключения терморезистора к измерительному мосту. Составить уравнение равновесия моста и определить соотношение сопротивлений R_{pa} и R_{pb} при температуре 50 °С, если $R_1=100$ Ом, $R_2=R_3=250$ Ом. В качестве R_T использован терморезистор градуировки 22, сопротивление проводов $R_l=5$ Ом, полное сопротивление $R_p=500$ Ом.

106. Равновесие моста (рис. 7) произошло при соотношении $R_{pa}/R_{pb}=2$. Определить температуру контролируемой среды, если $R_1=150$ Ом, $R_2=R_3=300$ Ом, $R_l=5$ Ом, полное сопротивление $R_p=450$ Ом, в качестве R_T использован терморезистор градуировки 24.

107. Градуировка моста (рис. 7) проведена с терморезистором градуировки 22 в начале шкалы при сопротивлении соединительных линий $R_l=5$ Ом для температуры 0 °С. Определить погрешность, вызванную сопротивлением линий $R_l=10$ Ом, если $R_1=500$ Ом, $R_2=R_3=250$ Ом.

108. Шкала переменного резистора в схеме (рис. 7) отградуирована от 0 до 100 °С для терморезистора градуировки 22 и сопротивления линий $R_l=5$ Ом. Определить полное сопротивление переменного резистора R_p и сопротивление R_2 , если $R_3=150$ Ом, $R_1=450$ Ом.

109. Какому положению переменного контакта (в точке a или b) соответствуют нижний и верхний пределы шкалы измерительного моста на рис. 7?

110. Составить уравнение для равновесия моста (рис. 4, а), если терморезистор подключен по трехпроводной схеме. Определить погрешности измерения, вызванные сопротивлением линий 0,5 Ом при двух- и трехпроводной схемах, если выбран терморезистор градуировки 23, $R_3=250$ Ом, а $R_2/R_1=5$.

111. В приведенной на рис. 8 схеме автоматического моста зависимость угла поворота указателя от температуры определяется по формуле

$$\alpha = \alpha_m \cdot \frac{R_T - R_{T_1}}{R_{T_2} - R_{T_1}}, \text{ где } \alpha_m - \text{ угол поворота на конечной отметке шкалы; } R_{T_2} \text{ и } R_{T_1} - \text{ значения сопротивлений терморезистора на границах температурного диапазона.}$$

Найти значение угла поворота указателя при температурах 50; 100 и 150 °С, если выбран терморезистор градуировки 24, шкала с полным углом поворота $\alpha_m = 180^\circ$ отградуирована от 0 до 180 °С.

112. Для измерения температуры использован автоматический мост (рис. 8) с ценой деления шкалы 5 °С/Ом и классом точности 1,0. Найти наибольшую абсолютную погрешность измерения сопротивления и температуры. Диапазон измерения от -50 до 100 °С; терморезистор градуировки 23.

113. В схеме автоматического моста (рис. 8) включен терморезистор градуировки 24, сопротивление $R_T = 150$ Ом. Найти ток и напряжение на терморезисторе при равновесии моста и температурах 0; 50 и 100 °С. Напряжение питания моста 15 В.

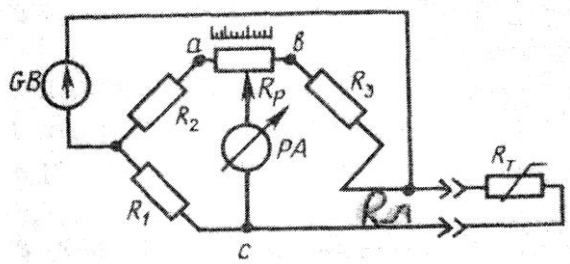


Рис. 7. Трехпроводная схема подключения терморезистора к измерительному мосту (к задачам 105÷109)

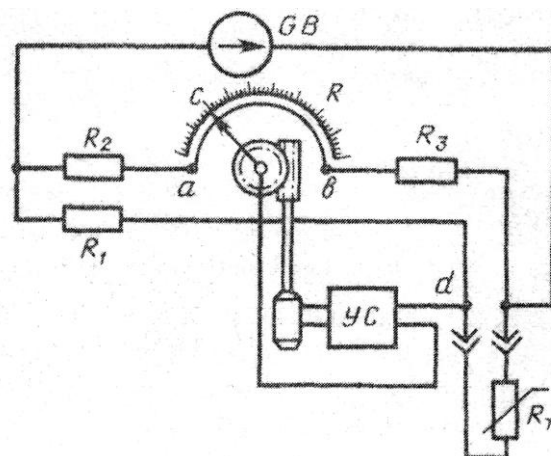


Рис. 8. Схема автоматического моста (к задачам 111÷113)

114. В схеме логометра (рис. 4, в) начало шкалы для терморезистора градуировки 23 соответствует 0 °С при сопротивлении соединительных линий 15 Ом. Определить выбранное значение сопротивления R_1 , если $R_2 = R_3$, а $R_6 = 200$ Ом.

115. Определить значение сопротивления R_x логометра (рис. 4, в), предназначенного для контроля работы прибора, если на его шкале нанесена контрольная черта при 100 °С. Логометр предназначен для измерения температуры с терморезистором градуировки 24 и сопротивлением уравнивающих катушек 25 Ом.

116. Сопротивление соединительной линии при подключении терморезистора к логометру равно 10 Ом. Сколько метров медной проволоки диаметром 0,1 мм необходимо для обмотки уравнивающей катушки, если градуировочное значение сопротивления линии 15 Ом?

117. Для измерения температуры использовался логометр с ценой деления шкалы 10 °С/Ом и классом точности 1,5. Найти наибольшую абсолютную погрешность измерения по сопротивлению и температуре. Диапазон измерения логометра от -50 до +150 °С при использовании терморезистора градуировки 20.

118. При температуре $T_0=293$ К сопротивление полупроводникового терморезистора равно 120 кОм. Найти его сопротивления при температурах $T=253$, 333 и 373 К, если $B_T=5500$ К.

119. Сопротивление терморезистора с $B_T=4600$ К при температуре $T_0=293$ К равно 150 кОм. Определить температуру среды, при которой его сопротивления будут равны 1 МОм, 10 кОм, 500 Ом.

120. Сопротивление терморезистора при температуре 293 К равно 10 кОм, при температуре 333 К - 1 кОм. Определить коэффициент B_T и температурную чувствительность терморезистора при $T=303$ К.

121. Разброс градуировочных значений параметров терморезисторов при температуре $T_0=293$ К составляет соответственно $R_{T_0}=100$ кОм ± 10 % и $B_T=5500$ К ± 5 %. Определить диапазон изменения сопротивления терморезисторов этой партии при температуре $T=333$ К.

122. Найти значения температурной чувствительности терморезистора с $B_T=6800$ К в диапазоне от 273 до 373 К в точках шкалы через каждые 10 К. Построить график зависимости чувствительности от температуры.

123. Измеренное значение сопротивления терморезистора с $R_{T_0}=100$ кОм и $B_T=5200$ К при температуре 333 К составляет 12 кОм. Определить погрешность нахождения сопротивления при $T_0=293$ К по сравнению с расчетным значением.

124. При температуре 293 К напряжение и ток в точке максимума равны $U_M=40$ В и $I_M=5$ мА. Найти значение напряжения при токах $I=1$; 3; 10 мА, а также номинальное сопротивление терморезистора.

125. При температурах среды 303 и 333 К напряжение в точках максимума уменьшилось от 50 до 25 В, а ток увеличился от 1 до 5 мА. Построить вольт-амперные характеристики терморезистора при этих температурах и найти коэффициент B_T .

126. Для линеаризации температурной характеристики терморезистора используют цепочку, приведенную на рис. 9. Определить зависимость от температуры сопротивления цепочки и построить ее график в диапазоне от 293 до 343 К для терморезистора с $R_{T_0}=150$ кОм и $B_T=4500$ К при $R_1=R_2=R_3=70$ кОм.

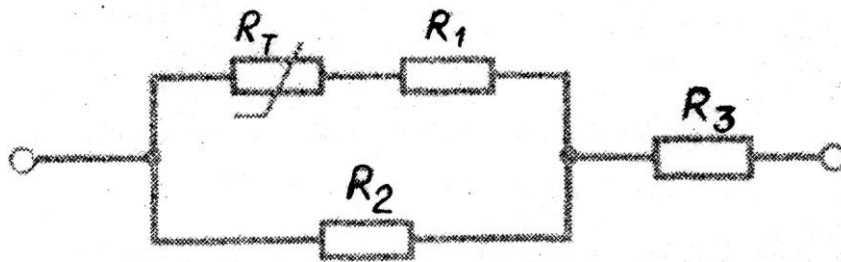


Рис. 9. Схема цепи для линеаризации температурной характеристики терморезистора (к задаче 126)

127. Какими свойствами объясняется низкая стабильность температурных характеристик поликристаллических терморезисторов? Рассказать об особенностях их изготовления.

128. Через терморезистор с сопротивлением $R_{T_0} = 120$ кОм и $B_T = 5500$ К при $T_0 = 293$ К протекает ток $0,1$ мА. Определить температуру рабочего тела терморезистора, если $b = 0,5; 1$ и 2 мВт/К.

129. Определить наибольшую выделяемую на терморезисторе мощность, чтобы при коэффициентах рассеивания $b = 1; 4$ и 5 мВт/К превышение температуры рабочего тела над температурой среды было менее 2 К.

130. Рассказать об основных конструктивных способах увеличения коэффициента рассеивания проволочных и полупроводниковых терморезисторов. Как связан коэффициент рассеивания с тепловой инерционностью?

131. Температура среды изменилась скачком на 20 °С. Определить изменения температуры терморезистора через $10; 20$ и 30 с, если его постоянная времени 15 с.

132. Постоянная времени терморезистора $\tau = 5$ с. Определить, через какие промежутки времени изменение его температуры будет составлять $25; 50$ и 90 % от изменения температуры среды. Показать, что переходный процесс практически заканчивается через время $t = 3\tau$.

133. Терморезистор с температурой рабочего тела, равной температуре окружающей среды $T_0 = 20$ °С, погружают в контролируемую среду с температурой $T = 60$ °С. Через какое время установится температура рабочего тела, равная T , если через 1 с температура термопреобразователя стала 30 °С?

134. Температура среды периодически меняется с частотой 2 Гц. Выбрать постоянную времени терморезистора, при которой отсутствовала бы динамическая погрешность измерения температуры.

135. В качестве термочувствительного элемента термопреобразователя используется полупроводниковый диод в прямом включении, напряжение которого меняется линейно от 1 до $0,1$ В при изменении температуры от 173 до 323 К. Определить температурную чувствительность диода и напряжение на нем при $213; 293; 313$ К.

2 ИЗМЕРИТЕЛИ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Расход вещества – это масса или объем вещества, проходящего через известное сечение в единицу времени. Объемный расход выражается в $\text{м}^3/\text{с}$, массовый – в $\text{кг}/\text{с}$. Расход жидких и газообразных веществ измеряют как при контроле технологических процессов и управлении ими, так и в учетных операциях. Делают это с помощью расходомеров, которые по своему принципу действия делятся на устройства: переменного перепада давления; постоянного перепада давления; переменного уровня; тахометрического действия (тахометры); электромагнитные (индукционные); тепловые (термоанемометры).

2.1 Расходомеры переменного перепада давления – наиболее распространенные средства измерения расхода жидкостей и газов, протекающих по трубопроводам. Эти измерители состоят из сужающего устройства, устанавливаемого в трубопроводе. Обычно используют диафрагму и сопло с определенными соотношениями геометрических размеров (рис. 10). Действие расходомеров этого типа основано на измерении перепада давления потока до сужающего устройства и в месте его наибольшего сужения.

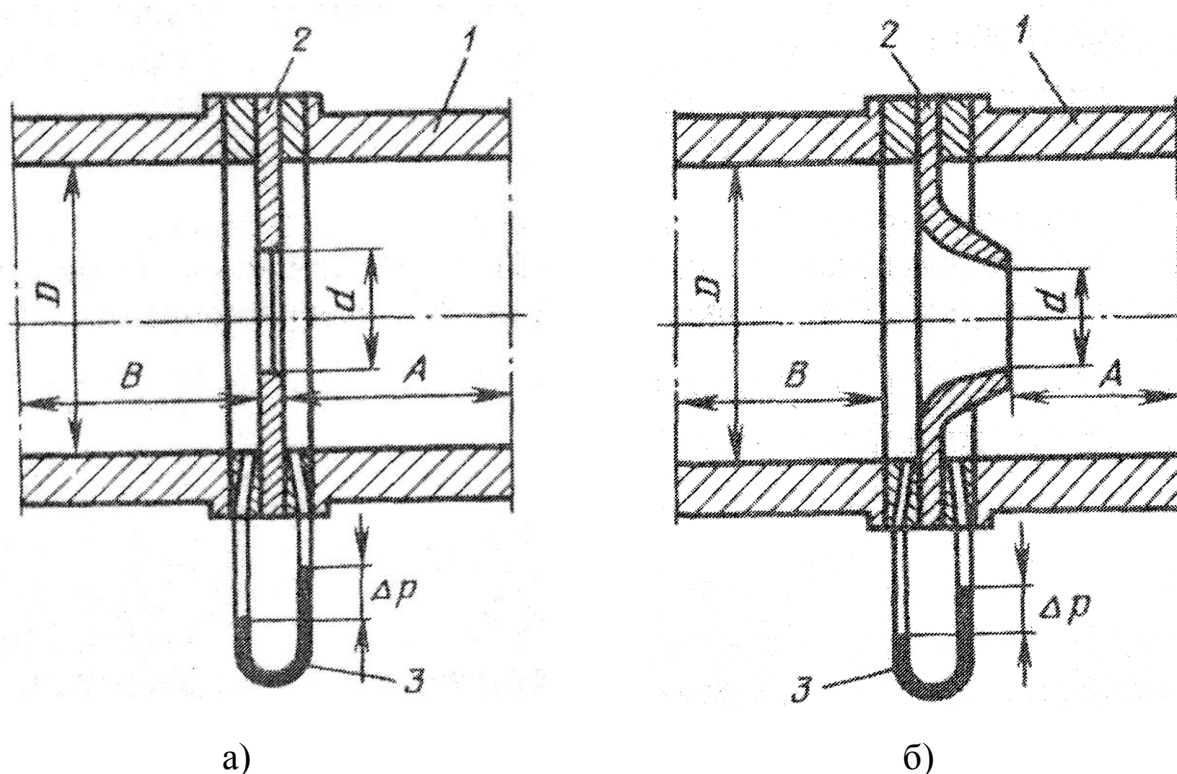


Рис. 10. Расходомеры переменного перепада давления:

a – с нормальной диафрагмой; *б* – с нормальным соплом: 1 – трубопровод; 2 – сужающее устройство; 3 – дифманометр

Объемный расход газов и жидкостей Q_v через сужающие устройства определяется по формуле

$$Q_v = \alpha_Q \cdot \mathcal{E}_c \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho_v}} = \alpha_Q \cdot \mathcal{E}_c \cdot m_Q^2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho_v}}, \quad (20)$$

где α_Q – коэффициент расхода;

\mathcal{E}_c – коэффициент сжимаемости (для жидкостей $\mathcal{E}_c=1$);

ρ_v – плотность жидкости или газа, кг/м³;

ΔP – перепад давлений, Па;

$m_Q = \frac{d}{D}$ – характеристический коэффициент (модуль сужающего устройства).

Коэффициент расхода зависит от соотношения диаметров и свойств жидкостей. Его значения для жидкостей, подобных воде, и газов, подобных воздуху, приведены в приложении 5.

Сужающие устройства обычно применяют в пределах $0,05 \leq m_Q \leq 0,6$. Кроме того, для устранения искажений потоков жидкости или газов сужающие устройства следует устанавливать на прямолинейных участках, длину которых выбирают из условий $A/D \geq 5$ и $B/D \geq 20$.

При измерении расхода с помощью сужающих устройств требуются нормированные условия среды (температура и атмосферное давление).

2.2 Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры) применяются для измерения потоков однородных, слабозагрязненных жидкостей и газов. Ротаметр представляет собой длинный конический участок трубопровода, вдоль которого под действием движущегося потока перемещается поплавков (рис. 11). Высота, на которую поднимается поплавок при известных значениях его массы и плотности, пропорциональна расходу. Расчетное выражение для определения расхода Q имеет вид:

$$Q = \alpha_Q \cdot S_k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot V \cdot \frac{\rho_{vн} - \rho_v}{\rho_v \cdot S_0}}, \quad (21)$$

где α_Q – коэффициент расхода;

S_k – площадь зазора между стенками и поплавком на высоте H , м²;

V – объем поплавка, м³;

$\rho_{vн}$ и ρ_v – плотность материала поплавка и контролируемой среды, кг/м³;

S_0 – площадь наибольшего сечения поплавка, м².

Площадь S_k можно выразить через геометрические размеры ротаметра и высоту поднятия H поплавка:

$$S_k = S_0 \cdot \left[\left(1 + \frac{H}{L} \cdot \frac{D-d}{d} \right)^2 - 1 \right], \quad (22)$$

где d и D – соответственно наибольшие диаметры поплавка и трубки ротаметра, м;

L – длина ротаметра, м.

Промышленностью выпускаются ротаметры со шкалой на стенке трубки и с дистанционной передачей сигнала, пропорционального расходу.

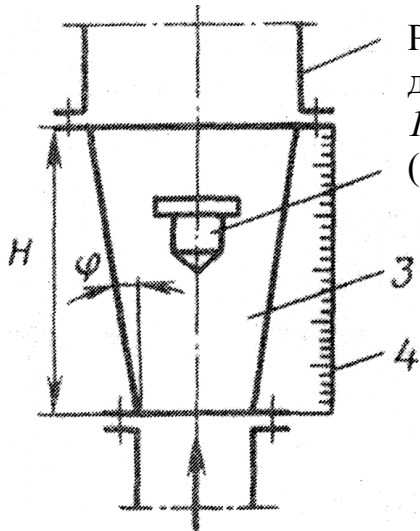


Рис. 11. Расходомер постоянного перепада давления (ротаметр):
 1 – трубопровод; 2 – поплавок; 3 – трубка (корпус); 4 – шкала

2.3 Расходомеры переменного уровня работают по принципу измерения высоты жидкости над краем щели при ее свободном истечении (рис. 12). В этих расходомерах жидкость поступает в накопительный отсек и заполняет щель сливного отсека. Щель может быть любого профиля, но для линейной зависимости расхода от высоты $Q=f(h)$ ее ширина x должна изменяться с высотой:

$$x = \frac{L}{\left[\left(\frac{L}{l} - 1 \right) \cdot \sqrt{\frac{h}{H} + 1} \right]}, \quad (23)$$

где L – наибольшая ширина щели (при $h=0$), м;
 l – наименьшая ширина щели (при $h=H$), м.

Расходомеры переменного уровня применяются для неоднородных и сильно загрязненных жидкостей, когда невозможно применять другие методы измерения.

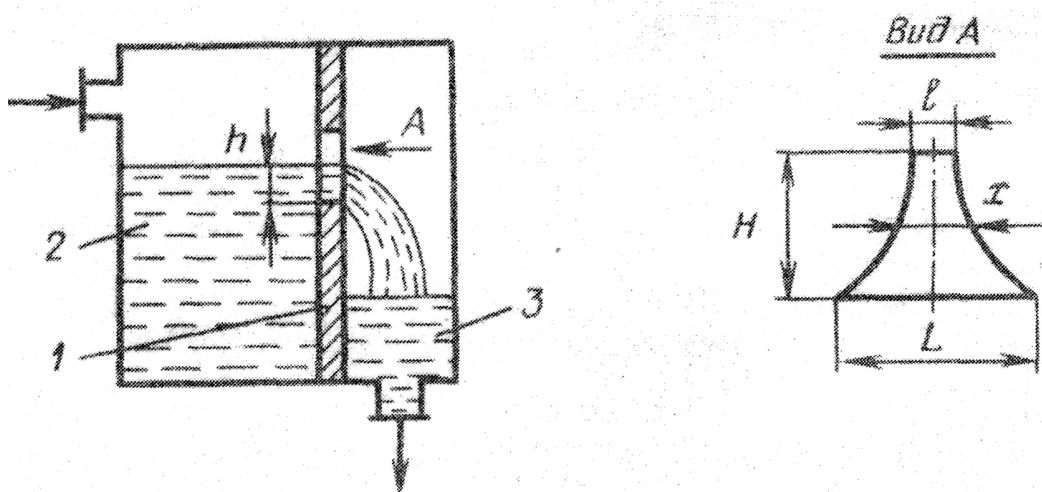


Рис. 12. Расходомер постоянного уровня:
 1 – перегородка; 2 – накопительный отсек; 3 – сливной отсек

2.4 Тахометрические расходомеры используют для контроля расхода жидкостей и газов в технологических процессах, а также для учета их количества. Действие этих приборов основано на использовании зависимости частоты вращения или перемещения рабочих органов под действием движущихся потоков. Наибольшее распространение получили турбинные и камерные расходомеры.

2.4.1 В турбинном расходомере основным элементом служит турбина (крыльчатка), вращающаяся в потоке жидкости (рис. 13, а). Вращение передается через специальный механизм к счетному устройству. Частота вращения турбины n пропорциональна средней скорости потока V_{cp} , и расходу Q :

$$n = \frac{k \cdot V_{cp}}{l} = \frac{k \cdot Q}{S \cdot l}, \quad (24)$$

где k – постоянный коэффициент для данного типа счетчика;

l – шаг лопастей турбины, м;

S – площадь поперечного сечения, м².

2.4.2 В камерном расходомере вращаются два (или более) подвижных элемента, отмеривающих при своем движении определенные объемы жидкости (рис. 13, б). Контроль и учет расхода жидкости проводится по результатам подсчета числа оборотов подвижных элементов.

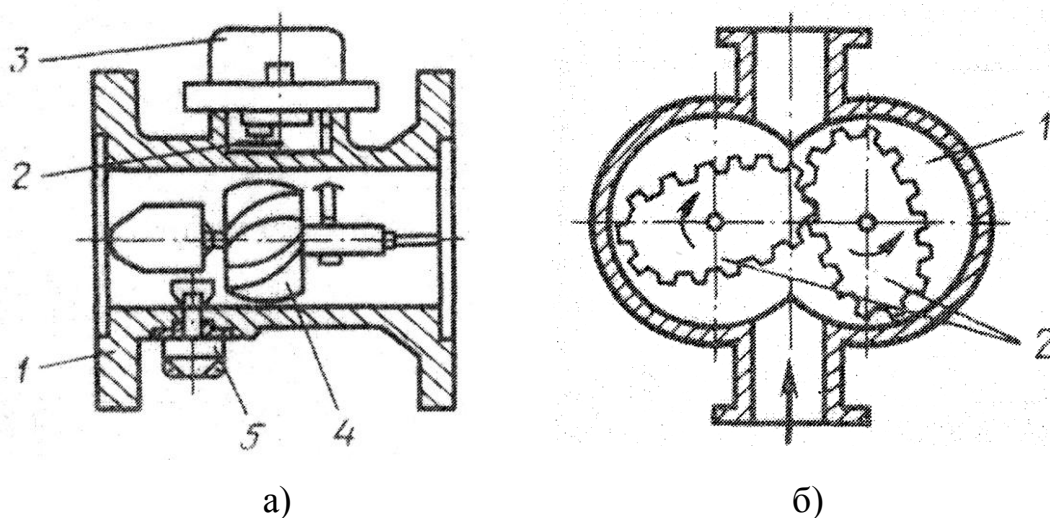


Рис. 13. Тахометрические расходомеры:

а – турбинный: 1 – корпус; 2 – передаточный счетный механизм; 3 – тахогенератор; 4 – турбина; 5 – устройство для регулирования точности измерения; *б* – камерный с овальными шестернями: 1 – камера; 2 – шестерни

2.5 Индукционные расходомеры служат для непосредственного преобразования расхода в электрический сигнал (рис. 14). Они предназначены для измерения расхода проводящих жидкостей. Действие индукционных расходомеров основано на возникновении ЭДС в трубопроводе между полюсами магнита, которая снимается с помощью электродов. Значение ЭДС E пропорционально скорости потока V_{cp} и определяется по формуле:

$$E = B \cdot D \cdot V_{cp} = \frac{B \cdot D \cdot Q}{S}, \quad (25)$$

где B – магнитная индукция между полюсами магнита, Тл;
 D – внешний диаметр трубы, равный расстоянию между электродами, м;
 S – площадь поперечного сечения трубы, м².

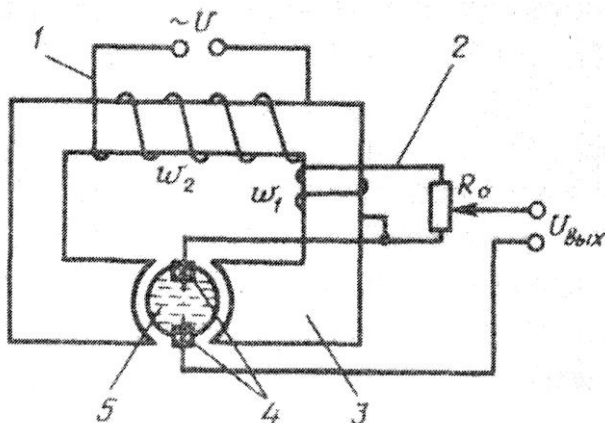


Рис. 14. Схема индукционного расходомера:
 1 – обмотка электромагнита; 2 – измерительная обмотка; 3 – магнитопровод; 4 – электроды; 5 – трубопровод

Для тонкостенных трубопроводов $E = \frac{4 \cdot B \cdot Q}{\pi \cdot D}$. Как следует из приведенных выражений, значение ЭДС практически не зависит от свойств жидкости, поэтому индукционные расходомеры можно применять для разнообразных проводящих жидкостей. С целью увеличения магнитной индукции обычно применяют электромагниты (рис. 14).

2.6 Тепловые расходомеры служат для измерения небольших расходов практически любых сред. Наиболее распространены термоанемометры. Действие термоанемометров основано на изменении температуры рабочего тела металлического или полупроводникового терморезистора, нагретого протекающим током в зависимости от скорости обтекающего его потока. Для определения температуры используют формулу (18), в которой коэффициент рассеивания зависит от скорости потока.

Температуру нити термоанемометра можно измерять либо непосредственно с помощью миниатюрных термопар (рис. 15, а), либо путем измерения ее сопротивления в мостовых схемах (рис. 15, б). Расчетное уравнение имеет вид:

$$I^2 \cdot R_T = \frac{k_V \cdot (T_p - T)}{V \cdot \Psi}, \quad (26)$$

где k_V и Ψ – коэффициенты, определяемые при градуировке термоанемометра;
 T – температура потока, К;
 T_p – температура терморезистора, К;
 I – ток в нити термоанемометра, А;
 V – скорость потока, м/с;
 R_T – сопротивление нити термоанемометра, Ом.

При измерениях можно находить зависимости тока I , сопротивления R_T или температуры T_p от скорости потока V .

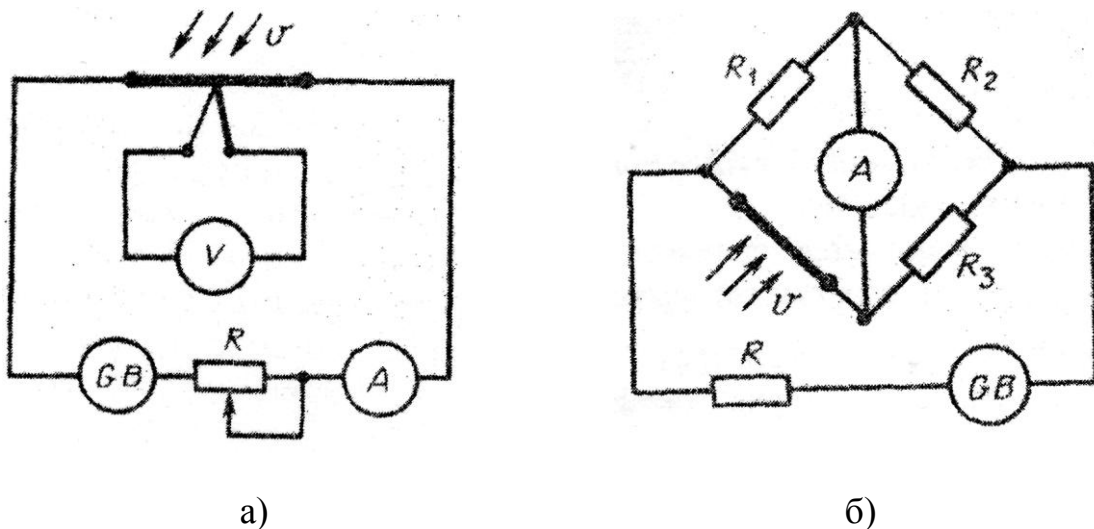


Рис. 15. Схема измерения температуры нити термоанемометра: а – с помощью миниатюрной термопары; б – с помощью моста

2.7 Задачи

136. По трубопроводу диаметром $D=100$ мм движется поток жидкости со средней скоростью 5 м/с. Определить объемный и массовый расходы жидкости, если ее плотность $\rho_V=995$ кг/м³.

137. Какие диаметры отверстий должны быть у сужающих устройств для измерения расхода в трубах диаметром $D=80, 120$ и 200 мм?

138. На каких расстояниях до и после сужающего устройства расходомера должны быть прямолинейные участки трубопровода диаметром $D=100, 150, 200$ мм?

139. При измерении расхода воды в трубопроводе диаметром $D=100$ мм с помощью нормальной диафрагмы $d=50$ мм (см. рис. 10, а) перепад давлений составляет $40; 60$ и 100 кПа. Найти значения объемного расхода.

140. При измерении расхода молока в трубопроводе диаметром $D=80$ мм с помощью нормального сопла $d=24$ мм (рис. 10, б) перепад давлений составляет $50, 100$ и 150 кПа. Найти значение объемного расхода, если плотность молока $\rho_V=950$ кг/м³.

141. Расход воздуха в трубопроводе диаметром $D=300$ мм меняется от 100 до 200 м³/ч. Определить, на какие перепады давления должен быть рассчитан дифманометр, устанавливаемый в нормальную диафрагму $d=30$ мм (рис. 10, а).

Плотность воздуха $1,033$ кг/м³, коэффициент сжимаемости $\mathcal{E}_c=0,87$.

142. Расход пара в трубопроводе диаметром $D=280$ мм меняется от 140 до 250 м³/ч. Определить, на какие перепады давления должен быть рассчитан дифманометр, устанавливаемый в нормальное сопло $d=40$ мм (рис. 10, б).

Плотность пара $1,4$ кг/м³, коэффициент сжимаемости $\mathcal{E}_c=0,65$.

143. При изменении расхода в 1,5 раза перепад давления в сужающем устройстве увеличился на 10 кПа. Определить первоначальное значение перепада давления.

144. Наибольший расход воды в трубопроводе диаметром $D=250$ мм равен $240 \text{ м}^3/\text{ч}$. К сужающему устройству подключен дифманометр с верхним пределом шкалы $\Delta p=0,2$ атм. Подобрать параметры нормальной диафрагмы или сопла для измерения расхода в данном случае.

145. Для измерения расхода молока номинальной плотностью $\rho_V=950 \text{ кг/м}^3$ в трубопроводе диаметром $D=250$ мм используется нормальная диафрагма с $m_Q^2=0,21$. Номинальное значение расхода $Q_H=80 \text{ м}^3/\text{ч}$. Найти погрешность определения расхода молока плотностью $\rho_V=930 \text{ кг/м}^3$.

146. Для измерения расхода воздуха с нормальными значениями плотности $\rho_V=1,035 \text{ кг/м}^3$ и коэффициента сжимаемости $\mathcal{E}_c=0,91$ в трубопроводе диаметром $D=100$ мм используется нормальное сопло с $m_Q^2=0,31$. Номинальное значение расхода $Q_H=150 \text{ м}^3/\text{ч}$. Найти погрешность определения расхода, если в результате изменения температуры и влажности воздуха его параметры стали равны $\rho_V=1,08 \text{ кг/м}^3$ и $\mathcal{E}_c=0,85$.

147. На рис. 16 приведена схема подключения сужающего устройства с помощью импульсных трубок. Пояснить особенности измерения расхода при заполнении импульсных трубок водой или газом.

148. Найти выражение для чувствительности расходомера и определить ее при измерении расхода воды в трубопроводе диаметром $D=200$ мм, если используется нормальная диафрагма с $m_Q^2=0,11$ при перепадах давления 10, 50, 80 кПа.

149. Для измерения расхода одного и того же вида вещества используют нормальные диафрагму и сопло с одинаковыми параметрами m_Q . Дать сравнительную характеристику этих устройств.

150. В ротаметре (рис. 11) используется стальной поплавок с наибольшим диаметром $d=25$ мм и массой 100 г, наибольший диаметр трубки ротаметра $D=100$ мм. В каких пределах можно измерять расход воды этим прибором, если $\rho_{V_{\text{ст}}}=8 \text{ г/см}^3$ и $\rho_V=1 \text{ г/см}^3$? Коэффициент расхода принять равным $\alpha_Q=1$. Верхний предел измерения ротаметра $200 \text{ м}^3/\text{ч}$.

151. Какой материал необходимо выбрать для поплавка ротаметра (рис. 11), если $d=30$ мм, $D=150$ мм, объем поплавка $V=20 \text{ см}^3$, $\alpha_Q=1$, $\rho_{V_B}=1 \text{ кг/м}^3$?

152. Ротаметр, предназначенный для измерения расхода молока ($\rho_V=950 \text{ кг/м}^3$), длиной $L=400$ мм и диаметром $D=80$ мм. Поплавок объемом $V=20 \text{ см}^3$ и $d=20$ мм выполнен из сплава с $\rho_{V_n}=11000 \text{ кг/м}^3$. Определить, каким расходам соответствует расположение поплавка на высоте 100, 200 и 300 мм. Коэффициент расхода принять $\alpha_Q=0,8$.

153. У ротаметра с трубкой длиной 500 мм верхний предел измерения 60 м³/ч. Шкала нанесена непосредственно на стенке трубки (рис. 11). Найти объем поплавка и определить, каким отметкам шкалы соответствуют расходы 20 и 40 м³/ч, если $D=100$ мм, $d=10$ мм, плотность поплавка $\rho_{\text{вн}}=8900$ кг/м³. Коэффициент расхода принять равным 1.

154. У ротаметра с трубкой длиной 100 мм верхний предел измерения 10 м³/с. Диаметр поплавка $d=25$ мм, диаметр $D=150$ мм. Определить, каким расходам соответствуют отметки на высоте 20, 50, 80 мм.

155. На рис. 17 приведена схема ротаметра с трансформаторным преобразованием перемещения h поплавка в электрический сигнал. Преобразование соответствует выражению $U_{\text{вых}} = 6 + k \cdot \sqrt{h}$, где $k=0,3$ В/мм^{1/2}. Ротаметром можно измерять расход до 1 м³/с, длина трубки 400 мм, $D=100$ мм, $d=10$ мм. Определить выходной сигнал устройства при расходах 0,2; 0,6 и 1 м³/с.

156. Пояснить, каким конструктивным способом обеспечивается центровка поплавка ротаметра во взвешенном состоянии по оси трубки. Как влияет центровка на погрешность измерения ротаметра?

157. Какой формы должна быть трубка ротаметра, чтобы шкала его была линейной. Как это условие выполняется в случае трубки конической формы?

158. Основываясь на принципе измерения, рассказать о требованиях к выбору материала для изготовления поплавка ротаметра.

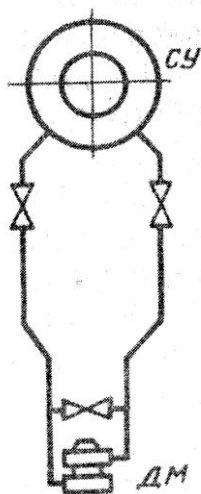


Рис. 16. Схема подключения дифманометра ДМ к сужающему устройству СУ (к задаче 147)

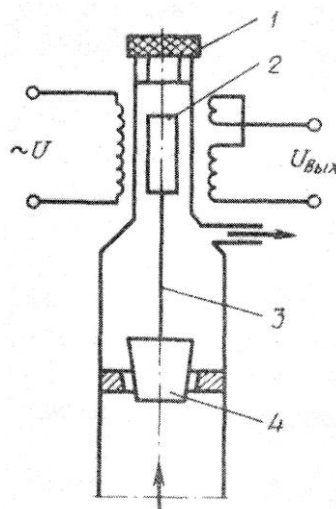


Рис. 17. Схема ротаметра с трансформаторным преобразованием перемещения поплавка в электрический сигнал (к задаче 155):

1 – пробка; 2 – ферромагнитный стержень; 3 – шток; 4 – поплавок

159. Расходомер переменного уровня (рис. 12) рассчитан на максимальный расход жидкости $Q_{\text{max}}=15$ м³/ч. Определить расходы при высоте жидкости над щелью $h=10, 30, 40$ мм, если высота щели $H=60$ мм.

160. При увеличении расхода в 1,5 раза уровень жидкости над щелью в расходомере переменного уровня (рис. 12) увеличился на 10 мм. Найти первоначальное значение расхода, если коэффициент пропорциональности $k=20 \text{ м}^2/\text{с}$.

161. Значение расхода менялось от 10 до 30 $\text{м}^3/\text{ч}$. Максимальный расход, на который рассчитан расходомер переменного уровня (рис. 12), равен 60 $\text{м}^3/\text{ч}$. Определить высоту жидкости h и ширину щели x при указанных расходах, если $H=50 \text{ мм}$, $L=20 \text{ мм}$ и $l=5 \text{ мм}$.

162. Объяснить, чем различаются два расходомера переменного уровня с одинаковыми пределами измерения и высотой щели H , но с разными соотношениями L/l .

163. Расходомер переменного уровня представляет собой цилиндр диаметром 0,5 м. Перегородка установлена на расстоянии 0,25 м от его оси. Номинальный расход равен 1 $\text{м}^3/\text{ч}$. Определить, за какое время наполнится накопительный отсек в начале измерения, если расстояние от дна до щели 0,8 м.

164. Каким образом при изготовлении щели расходомера переменного уровня обеспечивается свободное истечение жидкости, т.е. отсутствие торможения потока при прохождении щели?

165. Расход в турбинном тахометрическом расходомере (рис. 13, а) меняется от 30 до 70 $\text{м}^3/\text{ч}$. Каким оборотам турбины соответствуют эти значения расхода, если проходной диаметр 50 мм, а шаг лопастей турбины 40 мм? Коэффициент k принять равным 0,6.

166. Частота вращения турбины тахометрического расходомера (рис. 13, а) равна 850, 900, 950 мин^{-1} . Найти значение расхода, если проходной диаметр 60 мм, а на турбине диаметром 40 мм имеется восемь лопастей. Коэффициент $k=0,75$.

167. При изменении расхода в 1,2 раза частота вращения турбины увеличилась на 100 мин^{-1} . Найти первоначальное число оборотов и чувствительность тахометрического расходомера, если первоначальный расход был 10 $\text{м}^3/\text{ч}$.

168. На рис. 18 приведена принципиальная схема турбинного расходомера с индуктивным преобразователем. В диапазоне частоты вращения 500...800 мин^{-1} значение ЭДС меняется от 20 до 40 В. Определить частоту вращения и расход при напряжениях 25 и 35 В, если шкала отградуирована от 20 до 80 $\text{м}^3/\text{ч}$.

169. В схеме на рис. 18 измерительным прибором служит вольтметр с диапазоном измерения 10 В и классом точности 1,5. Определить наибольшую абсолютную погрешность измерения расхода, если чувствительность расходомера 0,5 $\text{В} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$.

170. Каким образом, используя автотрансформатор с подвижным контактом, в расходомере на рис. 18 можно реализовать уравновешенную схему измерения?

171. Шестерни в схеме (рис. 13, б) сделали в течение 20 мин 120 оборотов. Определить средний расход, если объем отсекаемой жидкости 50 см^3 .

172. На рис. 19 приведена схема барабанного счетчика молока типа МГБ. Определить, сколько оборотов сделал барабан в течение 0,6 ч, если средний расход 1,5 $\text{м}^3/\text{ч}$, а объем, заполняемый жидкостью в одном из отсеков, – 30 см^3 .

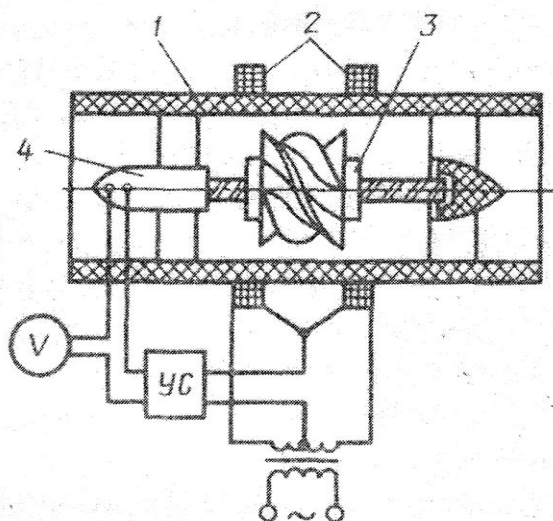


Рис. 18. Схема турбинного расходомера с индуктивным преобразователем (к задачам 168÷170):

1 – трубопровод; 2 – измерительные обмотки; 3 – турбина; 4 – устройство коррекции; УС – усилитель

173. Расход воды в тонкостенном трубопроводе диаметром 40 мм изменяется от 50 до 100 м³/ч. Его измеряют с помощью индукционного расходомера (рис. 14), в магнитной цепи которого создается индукция $B=1,2$ Тл. Определить изменения ЭДС в измерительной обмотке.

174. В индукционном расходомере (рис. 14) значения ЭДС 0,3; 0,5; 0,8 В. Определить расход жидкости в трубопроводе с внутренним диаметром $d_{вн}=30$ мм и внешним $D=40$ мм, если создаваемая магнитной цепью индукция $B=1$ Тл.

175. При градуировке индукционного расходомера верхнему пределу 500 м³/ч соответствует значение ЭДС 6 В для трубопровода $d_{вн}=41$ мм и $D=50$ мм. Определить индукцию в магнитной цепи и цену деления шкалы прибора.

176. Для измерения ЭДС индукционного расходомера используют милливольтметр со шкалой 100 мВ и внутренним сопротивлением $R_V=2$ кОм. Определить погрешность измерения ЭДС $E=50$ мВ, если сопротивление жидкости между электродами 200 Ом.

177. Индукционный расходомер использовали для определения расхода двух жидкостей. Для одной из них сопротивление между электродами равно 100 Ом, для другой – 200 Ом. Различаются ли ЭДС и напряжения на измерительном вольтметре с сопротивлением $R_V=5$ кОм при одинаковом расходе этих жидкостей?

178. Каким должно быть внутреннее сопротивление милливольтметра для измерения ЭДС индукционного расходомера, чтобы погрешность влияния сопротивления жидкости между электродами 100 кОм не превышала 2,5%?

179. В каких случаях применимы магнитные цепи расходомеров с постоянным и переменным магнитными потоками? Какого типа расходомеры можно использовать для электролитических жидкостей?

180. Какие требования предъявляются к материалам труб индукционных расходомеров для молока, технической воды и других технологических жидкостей?

181. На рис. 20 приведена принципиальная схема калориметрического теплового расходомера, для которого разность температур до и после нагревателя пропорциональна мощности нагревателя P и массовому расходу измеряемой среды $\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{P}{C_V \cdot Q \cdot \rho_V}$, где C_V – теплоемкость жидкости или газа.

Найти разность температур терморезисторов при мощности нагревателя 250 Вт, расходе воды $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, если $\rho_V=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $C_V=4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

182. Определить разность температур в схеме калориметрического расходомера на рис. 20 при мощности нагревателя 100 Вт, расходе воздуха $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\rho_V=1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $C_V=1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

183. При измерении расхода жидкости с $\rho_V=950 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $C_V=4 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ разность температур до и после нагревателя мощностью $0,75 \text{ кВт}$ в схеме (рис. 20) равна $0,1; 0,2; 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить расходы.

184. Мощность нагревателя калориметрического расходомера (рис. 20) 500 Вт. Какие максимальные значения расхода воды с $\rho_V=995 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $C_V=4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ и воздуха с $\rho_V=1,3 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $C_V=1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ можно измерять этим прибором, если разность температур до и после нагревателя должна быть не ниже $1 \text{ }^\circ\text{C}$?

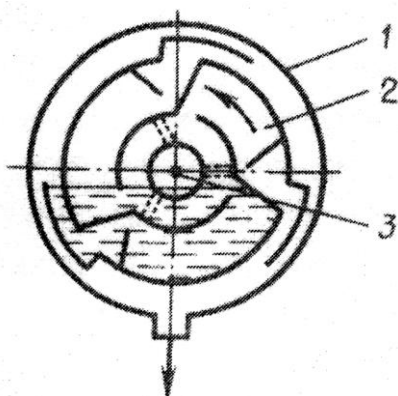


Рис. 19. Схема барабанного счетчика молока (к задаче 172); 1 – барабан; 2 – отсеки; 3 – вал

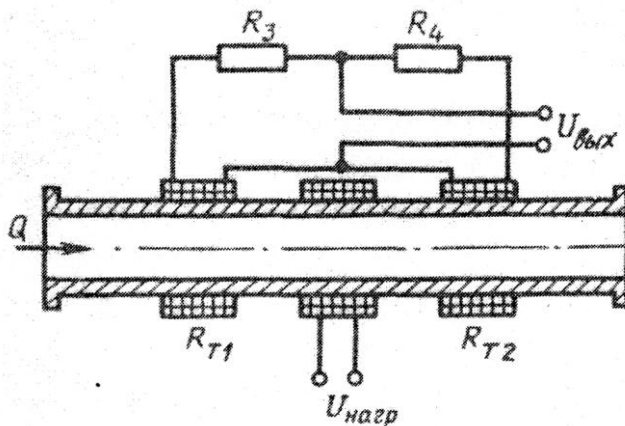


Рис. 20. Схема калориметрического теплового расходомера (к задачам 181÷184)

185. Температуру нити термоанемометра в схеме (рис. 15, а) измеряют с помощью термопары типа ТПП. Ток I в цепи термоанемометра при скорости потока $V=4 \text{ м}/\text{с}$ поддерживают равным $2,5 \text{ А}$. Коэффициенты $\Psi=0,5$; $k_V=0,085$, температура потока $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить сопротивление нити, если ЭДС термопары $6,5 \text{ мВ}$.

186. При постоянной мощности $P=10 \text{ Вт}$, выделяемой на нити термоанемометра, значения ЭДС термопары типа ТПП равны $5,5; 6$ и $6,5 \text{ мВ}$. Найти значения скорости потока, если его температура $50 \text{ }^\circ\text{C}$, $k_V=0,1$ и $\Psi=0,5$.

187. Расход в трубопроводе внутренним диаметром $D=50 \text{ мм}$ измеряют в режиме постоянной температуры $T_p=350 \text{ }^\circ\text{C}$ с помощью медной нити с сопротивлением при $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$ $R_0=10 \text{ Ом}$. Найти значение расхода, если ток равен $0,1; 0,5; 1 \text{ А}$, $\Psi=0,5$; $k_V=0,08$.

188. Термоанемометр отградуирован на расходе жидкости $Q=4 \text{ м}^3/\text{с}$ при температуре потока $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить погрешность, связанную с повышением температуры до $50 \text{ }^\circ\text{C}$, если измерение проводилось на трубопроводе диаметром $D=40 \text{ мм}$ в режиме постоянной мощности $P=1 \text{ Вт}$ при $\Psi=0,5$; $k_V=0,1$.

189. Расход в диапазоне от 1 до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ измеряют в трубопроводе диаметром 50 мм при постоянной температуре $T_p=500 \text{ }^\circ\text{C}$ и сопротивлении нити 20 Ом. Найти диапазон изменения тока нити, построить график зависимости $I=f(Q)$, если $\Psi=0,5$; $k_V=0,1$, а температура потока $T=30 \text{ }^\circ\text{C}$.

190. Расход измеряют по мостовой схеме (рис. 15, б) в режиме постоянного тока. Определить ток в измерительной диагонали моста с плечами $R_1=R_2=R_3=50 \text{ Ом}$ при расходе $5 \text{ м}^3/\text{с}$ в трубопроводе диаметром 100 мм. Мощность, выделяемая на нити, 2,5 Вт, температура потока $20 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициенты $\Psi=0,5$; $k_V=0,1$. Нить выполнена из платиновой проволоки градуировки 22, напряжение питания моста 15 В.

191. Дать сравнительную характеристику режимов измерения тепловых расходомеров при постоянной температуре и постоянном токе. Пояснить, почему питание измерительных цепей расходомеров осуществляется постоянным напряжением или переменным напряжением высокой частоты.

192. Почему тепловые расходомеры в большей степени применимы для измерения расхода газов, чем жидкостей? Каким теплофизическим фактором ограничены диапазоны измерения скорости потока и расхода?

3 ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Давление – важный параметр, который характеризует состояние веществ в ходе технологических процессов и определяется как отношение силы, действующей перпендикулярно к поверхности, на ее площадь. Давление измеряется в $\text{Па}=\text{Н}/\text{м}^2$. Для градуировки приборов используют также практические единицы: $1 \text{ атм} \approx 1 \text{ кгс}/\text{см}^2 \approx 10^4 \text{ мм вод. ст.} \approx 760 \text{ мм рт. ст.} \approx 10^5 \text{ Па}$.

В связи с наличием атмосферного давления $p_{атм}$ вводятся понятия абсолютного давления $p_{абс}$ и избыточного $p_{изб}$; $p_{изб}=p_{абс}-p_{атм}$. Приборы для измерения $p_{атм}$ называются барометрами, для измерения положительного избыточного давления ($p_{абс}>p_{атм}$) – манометрами, а для измерения отрицательного избыточного давления ($p_{абс}<p_{атм}$) – вакуумметрами.

Приборы для измерения абсолютного и избыточного давлений, а также разности давлений делятся на следующие группы: жидкостные; деформационные; электрические; тепловые.

3.1 Жидкостные манометры – наиболее простые по устройству приборы для измерения давления. Действие их основано на уравнивании измеряемого давления силой тяжести столба жидкости. Устройство жидкостных манометров с непосредственным отсчетом показаний показано на рисунке 21. В них используется принцип сообщающихся сосудов.

3.1.1 Для U-образного двухтрубного манометра (рис. 21, а) давление определяется по разности уровней жидкости в трубках, в которые подаются атмосферное и абсолютное давления (или разность двух давлений):

$$P_{изб} = h \cdot \rho_V \cdot g \quad \text{или} \quad \Delta P = P_1 - P_2 = h \cdot \rho_V \cdot g, \quad (27)$$

где ρ_V – плотность заполняющей трубки жидкости, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

h – разность уровней жидкости в трубках, м.

3.1.2 Для **чашечного однотрубного манометра** (рис. 21, б) давление определяется по уровню h жидкости в одной трубке:

$$P_{изб} = h + H \cdot \rho_V \cdot g = h \cdot \rho_V \cdot g \cdot \left(1 + \frac{S_1}{S_2}\right), \quad (28)$$

где S_1 и S_2 – площади сечения соответственно трубки и сосуда, м².

3.1.3 Поплавковые дифманометры используются для преобразования высоты столба жидкости в перемещение указателя шкалы, а также регистрации и передачи измерительной информации. Перемещение поплавка (рис. 22) и поворот указателя пропорциональны разности давлений в минусовом p_2 и плюсовом p_1 сосудах ($p_1 > p_2$):

$$\Delta P = h + \left[1 + \left(\frac{D}{d}\right)^2\right] \cdot \rho_V - \rho_{Vc} \cdot g, \quad (29)$$

где d и D – диаметры соответственно плюсового и минусового сосудов, м;

ρ_V и ρ_{Vc} – плотности жидкости и среды над ней кг/м³.

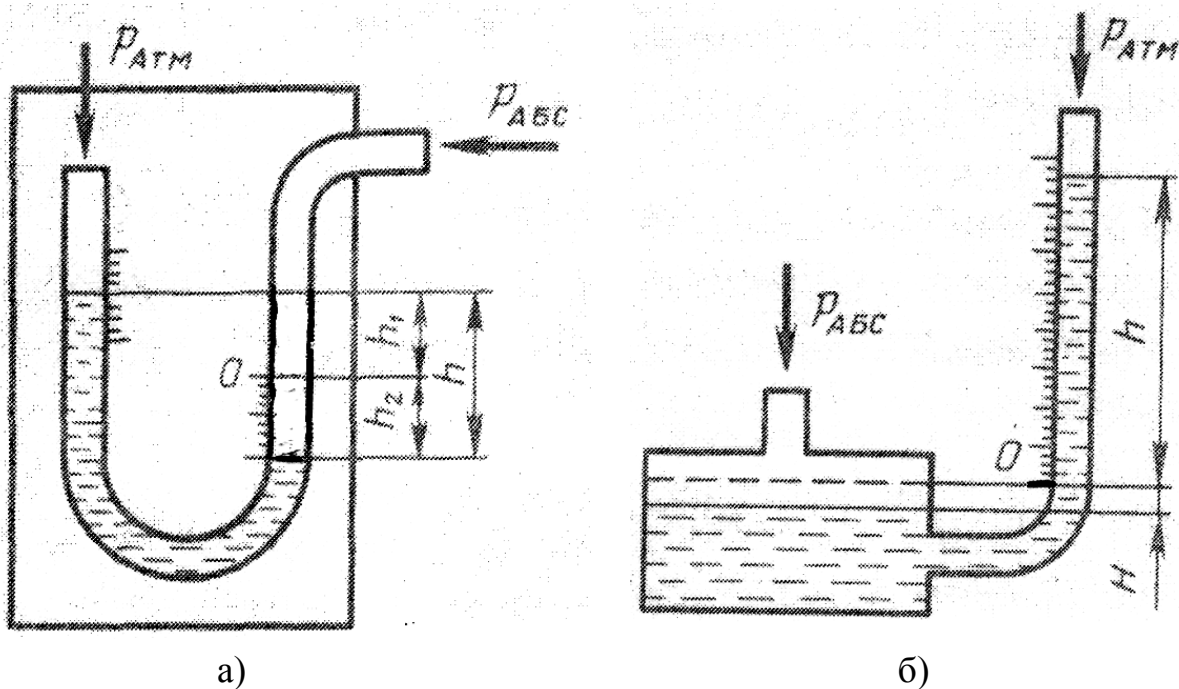


Рис. 21. Жидкостные манометры:
а – U-образный двухтрубный; б – чашечный однотрубный

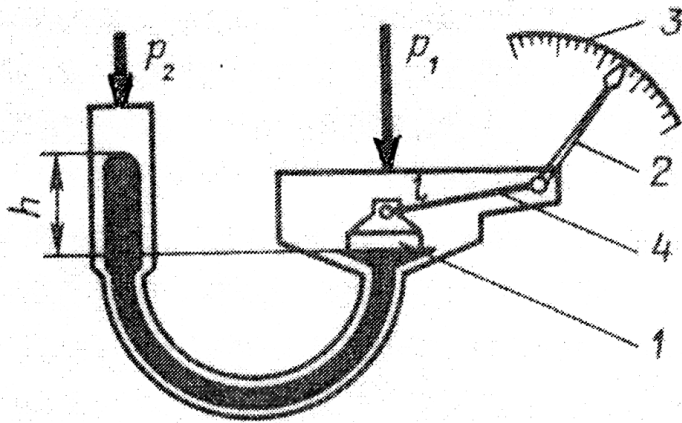


Рис. 22. Поплавковый дифманометр:

1 – поплавок; 2 – указатель; 3 – шкала; 4 – рычаг

3.1.4 Уравновешенные жидкостные дифманометры используют для измерения разности давлений, а также небольших давлений и разрежений (рис. 23).

3.1.4.1 В *колокольных дифманометрах* (рис. 23, а) измеряемая разность давлений ΔP связана с перемещением колокола H по формуле:

$$\Delta P \cdot S_k = m_k \cdot g - G \cdot (L - H), \quad (30)$$

где S_k – внутренняя площадь колокола, м^2 ;

m_k – масса колокола, кг;

G – жесткость пружины, Н/м;

L – начальная глубина погружения колокола, м.

3.1.4.2 Действие *кольцевого дифманометра* (рис. 23, б) основано на изменении угла поворота φ кольцевых весов с двумя камерами в зависимости от разности давлений в них:

$$\sin \varphi = \frac{\Delta P \cdot D_{cp} \cdot S}{m \cdot g \cdot 2 \cdot l_0}, \quad (31)$$

где D_{cp} – средний диаметр кольца, м;

S – площадь сечения кольца, м^2 ;

m – масса груза, кг;

l_0 – расстояние от центра тяжести груза до точки опоры, м.

К недостаткам жидкостных манометров относятся достаточно большие габариты и масса, необходимость использования измерительных жидкостей, ограниченность диапазона измерения давления.

3.2 Деформационные манометры действуют по принципу преобразования давления в перемещение упругого элемента. Основные типы упругих элементов и расчетные соотношения для них приведены в приложении 5. В зависимости от типа применяемых упругих элементов различают пружинные (мембранные), сильфонные и трубчато-пружинные манометры; их кинематические схемы приведены на рис. 24.

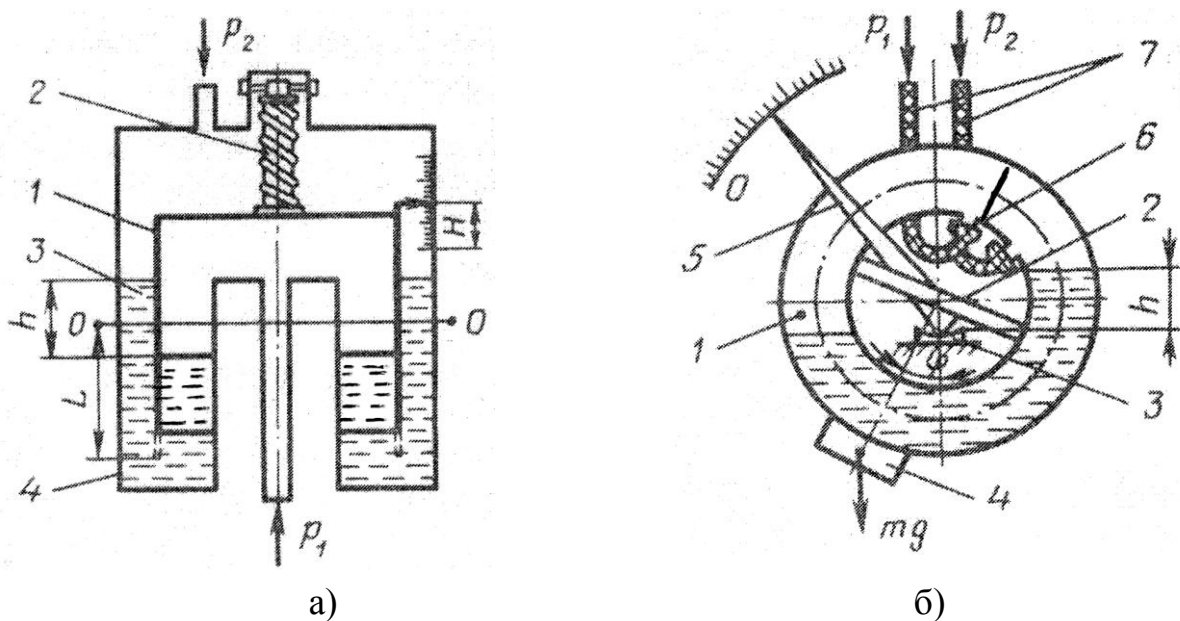


Рис. 23. Уравновешенные дифманометры:

а – колокольный: 1 – колокол; 2 – пружина; 3 – разделительная емкость; 4 – сосуд; *б* – кольцевой: 1 – полое кольцо; 2 – траверса с призмой; 3 – опора; 4 – рабочий груз; 5 – указатель шкалы; 6 – перегородка; 7 – соединительные трубки

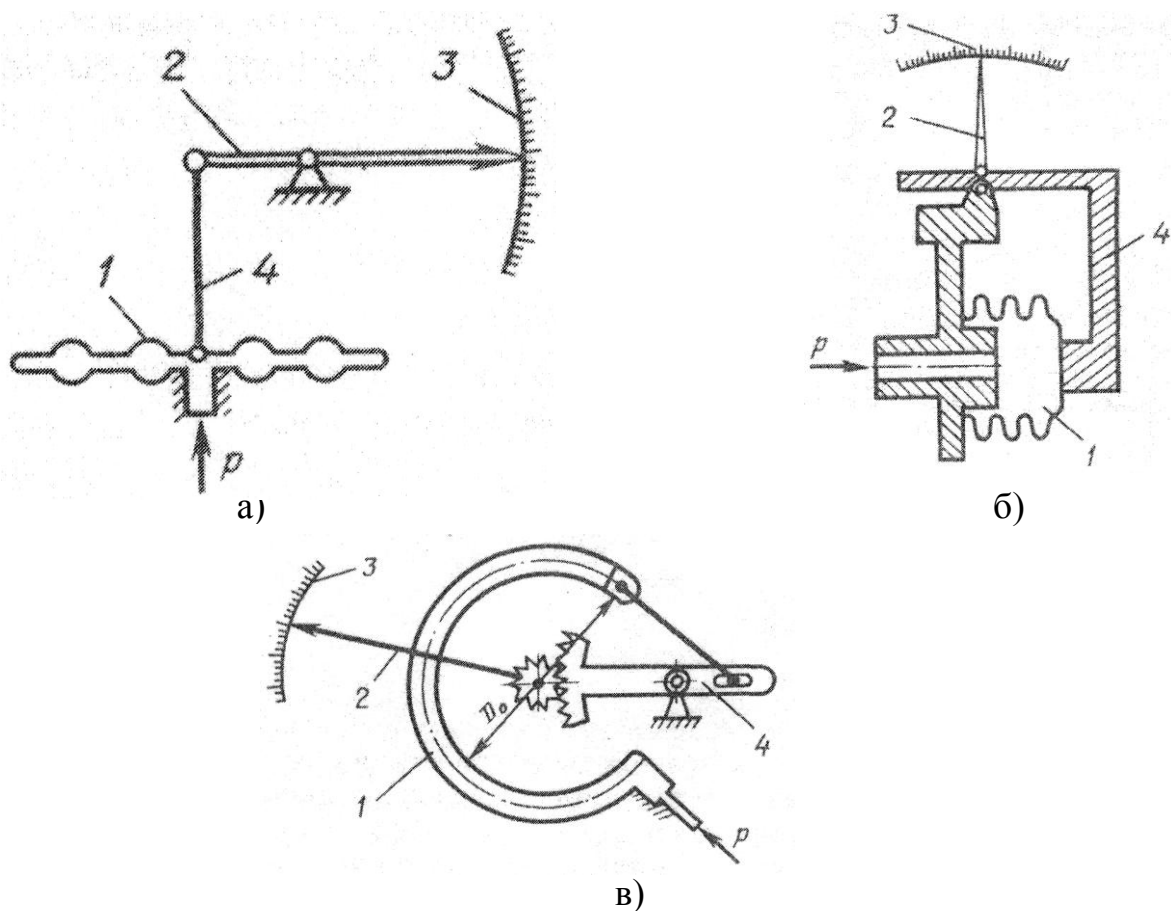


Рис. 24. Деформационные манометры:

а – пружинный; *б* – сильфонный; *в* – трубчато-пружинный; 1 – измерительный (упругий) элемент; 2 – указатель; 3 – шкала; 4 – рычаг

Деформационные манометры бывают с прямым отсчетом давления или с дистанционными системами передачи сигнала и его регистрацией. К их преимуществам относятся: широкий диапазон измерения давления; возможности настройки и регулировки характеристик.

3.3 Электрические преобразователи действуют по принципу непосредственного преобразования в электрический сигнал. К таким преобразователям относятся пьезоэлектрические, тензометрические и емкостные.

3.3.1 В пьезоэлектрических преобразователях (рис. 25, а) используется явление возникновения напряжения U на гранях кристаллов при воздействии на них механического усилия или давления P :

$$U = \frac{10^{12} \cdot k_0 \cdot P \cdot S}{\left(\frac{C_{ex}}{n_n}\right) + C_0}, \quad (32)$$

где k_0 – пьезоэлектрическая постоянная, Кл/Н;

S – площадь поверхности грани кристалла, м²;

C_{ex} , C_0 – емкости измерительной цепи кристалла соответственно, пФ;

n_n – число пластинок.

Емкость C_0 (пФ) пьезокристалла определяется из соотношения

$$C_0 = 8,9 \cdot \varepsilon \cdot \frac{S}{h}, \quad (33)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала кристалла;

h – толщина пластины, м;

S – площадь пластины, м².

Для наиболее распространенного пьезоэлектрического материала – кварца $k_0=2,2 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н и $\varepsilon=4,5$.

3.2.2 В тензометрических преобразователях используется явление изменения сопротивления проволочных или полупроводниковых резисторов при их деформации. Относительное изменение сопротивления ΔR линейно зависит от изменения длины Δl :

$$\frac{\Delta R}{R} = k_\delta \cdot \frac{\Delta l}{l} = \frac{k_\delta \cdot P}{S \cdot E_G}, \quad (34)$$

где k_δ – коэффициент тензочувствительности (0,5÷2,5);

P – приложенное усилие, кН;

S – площадь, м²;

E_G – модуль упругости, ГПа;

R – начальное сопротивление резистора, Ом;

l – начальная длина резистора, м.

Достаточно часто тензометрические датчики наклеивают на упругие элементы пружинных манометров и включают их в мостовые измерительные схемы (рис. 25, б).

3.3.3 В емкостных преобразователях (рис. 25, в) используется явление изменения емкости плоского конденсатора при изменении расстояния между его обкладками под действием давления.

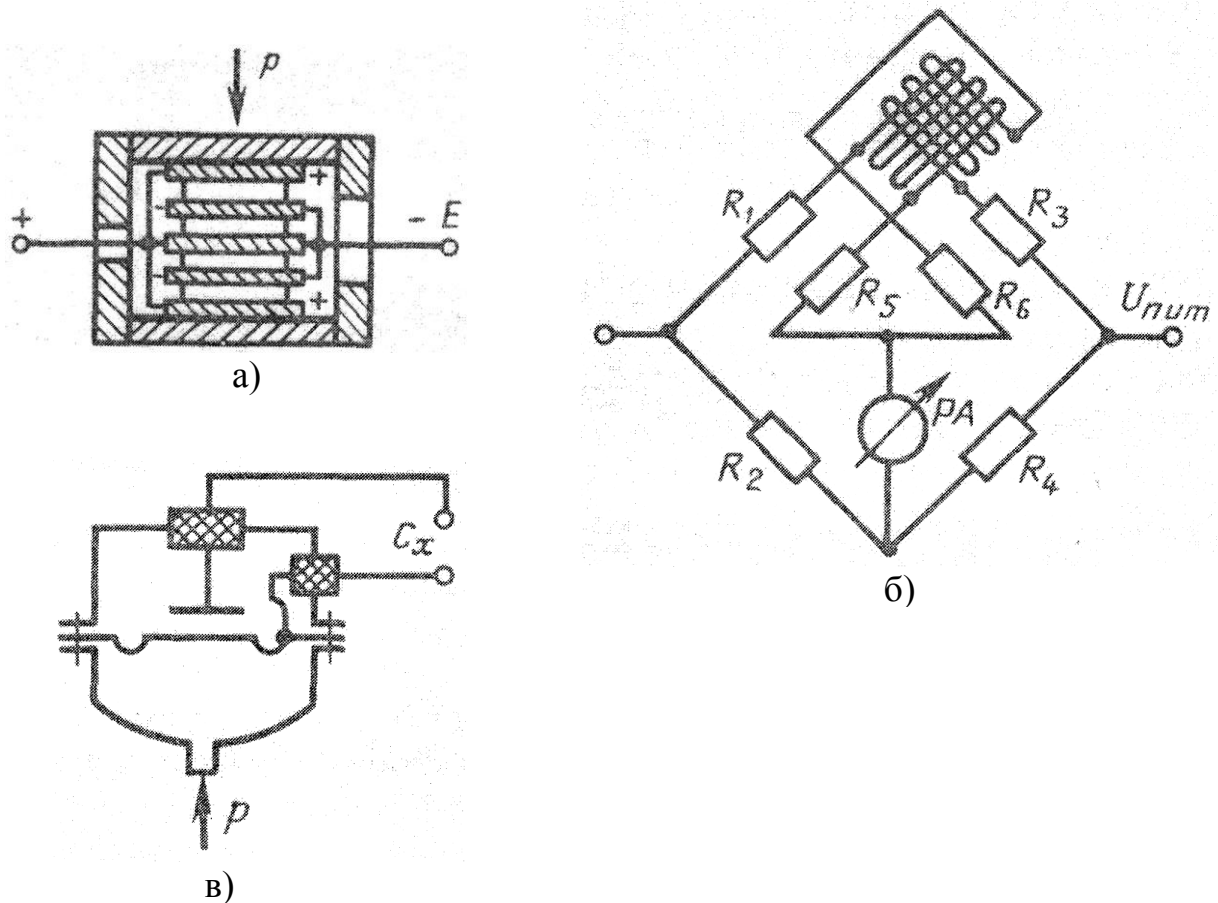


Рис. 25. Электрические преобразователи давления:
а – пьезоэлектрический; *б* – тензометрический; *в* – емкостный

3.4 Тепловые вакуумметры используют для измерения небольших давлений и глубокого вакуума (от 10 до 100 Па). Действие их, как и тепловых расходомеров, основано на изменении температуры рабочего тела терморезистора в зависимости от давления. При этом используется зависимость (18), в которой коэффициент рассеивания зависит от давления среды. Для измерения давления можно использовать режимы постоянного тока и постоянной температуры.

3.5 Задачи

193. Атмосферное давление в зоне установки двухтрубного манометра (рис. 21, а), заполненного ртутью с $\rho_V=14 \text{ г/см}^3$, равно 760 мм рт. ст. Определить избыточное и абсолютное давления, если разность уровней 100, 200, 300 мм.

194. Абсолютное давление контролируемой среды менялось от 0,5 до 1,2 атм, атмосферное давление 760 мм рт. ст. Определить, в каких пределах меняется разность уровней в двухтрубном манометре, заполненном ртутью с $\rho_V=14 \text{ г/см}^3$.

195. Жидкостный манометр отградуирован при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. на измерение абсолютного давления до 1,3 атм. Изменится ли избыточное давление прибора, заполненного ртутью, при падении атмосферного давления до 730 мм рт. ст.? Определить относительную погрешность измерения абсолютного давления, если показание прибора соответствует 1,3 атм.

196. Жидкостный манометр, заполненный спиртом, градуируется при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; плотность спирта $\rho_{v_0}=800\text{ кг/м}^3$. Определить, как изменится чувствительность прибора при температуре $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, если $\rho_v=790\text{ кг/см}^3$. Найти погрешность измерения давления $p_{изб}=\pm 1\text{ кПа}$.

197. Длина каждой из трубок U-образного манометра (рис. 21, а) $0,5\text{ м}$. Для каких избыточных давлений можно использовать манометр, если его заполнить ртутью ($\rho_v=13800\text{ кг/м}^3$), водой ($\rho_v=1000\text{ кг/м}^3$) или спиртом ($\rho_v=800\text{ кг/м}^3$)?

198. В каком случае можно измерять давление в двухтрубном манометре не по разности уровней, а по изменению уровня в одной из трубок относительно нулевой отметки?

199. Двухтрубный манометр установлен под углом 10° к линии отвеса. Определить систематическую погрешность, вызванную неправильной установкой прибора, при давлениях $10, 20$ и 50 кПа , если его цена деления 1 мм/кПа .

200. Для чашечного однострубногo манометра (рис. 21, б) диаметр плюсовой трубки $D=80\text{ мм}$, а минусовой $d=20\text{ мм}$. Определить значение избыточного давления при уровнях жидкости в плюсовой трубке $100, 250, 500\text{ мм}$, если прибор заполнен ртутью ($\rho_v=13,7\text{ г/см}^3$).

201. Давление в чашечном манометре (рис. 21, б), заполненном водой ($\rho_v=1000\text{ кг/м}^3$), меняется в пределах от 1 до 2 кПа . Определить изменение уровней в плюсовом и минусовом сосудах, если $S_1/S_2=0,04$.

202. Минусовая трубка чашечного манометра снабжена шкалой с делениями, нанесенными через 5 мм . Определить градуировку прибора в Па, если он заполнен: ртутью, водой.

203. Рассчитать соотношение между диаметрами плюсового и минусового сосудов чашечного манометра так, чтобы погрешность измерения, связанная с изменением уровня жидкости в чашке, не превышала 1% .

204. Чашечный манометр (рис. 21, б) используют для определения перепада давлений в сужающем устройстве расходомера. Определить значение расхода при уровне ртути ($\rho_v=13,8\text{ г/см}^3$) в трубке 100 мм , если при максимальном расходе $Q_{max}=10\text{ м}^3/\text{с}$ высота столбика 250 мм . Отношением площадей сечений плюсового и минусового сосудов можно пренебречь. Чем характеризуется шкала манометра, если она отградуирована в единицах расхода, по сравнению с градуировкой по давлению?

205. На рис. 26 приведена схема микроманометра с наклонной трубкой, который заполнен спиртом ($\rho_v=800\text{ кг/м}^3$). Определить верхний предел измерения и цену деления прибора, если шкала имеет 50 делений на высоте 250 мм , диаметр 4 мм и расположена под углом 30° к плюсовому сосуду диаметром 40 мм .

206. Как меняется чувствительность и цена деления микроманометра (рис. 26) при увеличении угла наклона минусовой трубки? Найти чувствительность и цену деления при угле $\varphi=45^{\circ}$, если цена деления шкалы $c=50\text{ Па/мм}$, при $\varphi=30^{\circ}$. Отношением S_1/S_2 пренебречь.

207. Верхний предел измерения давления 2 кПа отградуирован при температуре 20 °С, $g=9,8066 \text{ м/с}^2$ и $\rho_V=810 \text{ кг/м}^3$ для спиртового микроманометра (рис. 26). Определить погрешность измерения давления, если рабочие условия соответствуют температуре 40 °С, $g=9,81 \text{ м/с}^2$ и $\rho_V=788 \text{ кг/м}^3$.

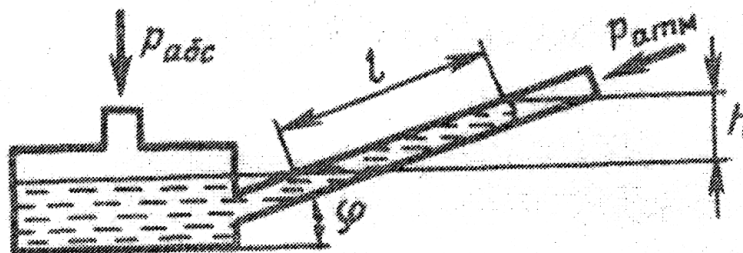


Рис. 26. Микроманометр с наклонной трубкой (к задачам 205÷207)

208. Поплавковый дифманометр (рис. 22) заполнен ртутью ($\rho_V=13,8 \text{ г/см}^3$) и предназначен для измерения давления воды ($\rho_V=0,98 \text{ г/см}^3$). Определить значения разности давлений, если поплавок опустился относительно начального положения на 1; 3; 5 мм. Диаметр трубки 10 мм, диаметр чашки 60 мм.

209. Поплавковый дифманометр (рис. 22) рассчитан на измерение перепада давлений 25 кПа, при этом максимальное изменение уровня поплавка 5 мм. Каким должен быть коэффициент передаточного механизма указателя шкалы в том случае, когда при длине рычага $l=20 \text{ мм}$ отклонение указателя соответствует 90° при отметке 25 кПа.

210. Поплавковый дифманометр (рис. 22) заполнен ртутью ($\rho_V=13,8 \text{ г/см}^3$) и предназначен для измерения давления воды ($\rho_V=1 \text{ г/см}^3$). Определить погрешность измерения этим прибором давления молока ($\rho_V=0,95 \text{ г/см}^3$), если показание прибора 20 кПа.

211. Длина минусовой трубки диаметром 5 мм поплавкового дифманометра ограничена и составляет 0,5 м. Диаметр чашки, заполненной ртутью ($\rho_V=14 \text{ г/см}^3$), 50 мм. Определить предел измерения давления с помощью этого прибора: для воды ($\rho_V=1000 \text{ кг/м}^3$); для воздуха ($\rho_V=1 \text{ кг/м}^3$).

212. Поясните применение минеральных масел в поплавковых дифманометрах, предназначенных для отраслей агропромышленного комплекса. Сравните характеристики этих приборов и ртутных манометров.

213. В колокольном дифманометре (рис. 23, а) начальная глубина погружения $L=100 \text{ мм}$ колокола с внутренним диаметром $D=100 \text{ мм}$ и массой 0,5 кг. Определить измеряемые значения разности давлений при перемещениях колокола $H=10; 50; 70 \text{ мм}$, если начальная отметка шкалы соответствует нулевой разности давлений.

214. В колокольном дифманометре (рис. 23, а) с параметрами $m_k=1 \text{ кг}$ и $S_k=0,01 \text{ м}^2$ пружина характеризуется $G=50 \text{ Н/м}$. Определить, на какой диапазон перепадов давлений рассчитан манометр, если начальная глубина погружения $L=100 \text{ мм}$.

215. В колокольном дифманометре со шкалой от 0,5 до 1 кПа начальная глубина погружения колокола массой 1,5 кг равна 50 мм. Подобрать жесткость пружины и площадь сечения колокола.

216. Изменится ли коэффициент преобразования дифманометра (рис. 23, а), если утяжелить колокол при неизменной жесткости пружины? Какой должна быть жесткость пружины, чтобы изменение перепада давлений на 10 кПа вызывало перемещение колокола диаметром 40 мм на 50 мм?

217. Объяснить, почему колокол дифманометра (рис. 23, а) выполнен тонкостенным. Влияет ли на точность измерений плотность заполняющей дифманометр жидкости?

218. Найти углы поворота указателя кольцевого дифманометра (рис. 23, б) при давлениях 1; 2,5 и 5 кПа, если средний диаметр кольца 200 мм, площадь его сечения 20 см^2 , расстояние до центра тяжести груза массой 0,5 кг равно 280 мм.

219. Кольцевой дифманометр (рис. 23, б) со средним диаметром кольца 250 мм и диаметром сечения 20 мм поворачивается на углы 20, 30 и 45° . Определить значения давления, если расстояние от центра тяжести груза массой 1 кг до поверхности кольца равно 30 мм.

220. Кольцевым дифманометром можно измерять давления до 5 кПа, максимальный угол поворота равен 60° . Рассчитать массу груза m , если $D_{cp}=200$ мм, $S=40 \text{ см}^2$, $l_0=180$ мм.

221. На рис. 27 приведен один из наиболее точных уравновешенных грузопоршневых манометров. Диаметр поршня 50 мм. Рассчитать массу груза таким образом, чтобы с помощью манометра можно было измерять давление до 1; 5 и 10 кПа.

222. В грузопоршневом манометре (рис. 27) с пределом измерения 1000 кПа погрешность, связанная с трением поршня площадью сечения 10 см^2 , не должна превышать 0,1 %. Определить допустимую силу трения и указать способы ее снижения.

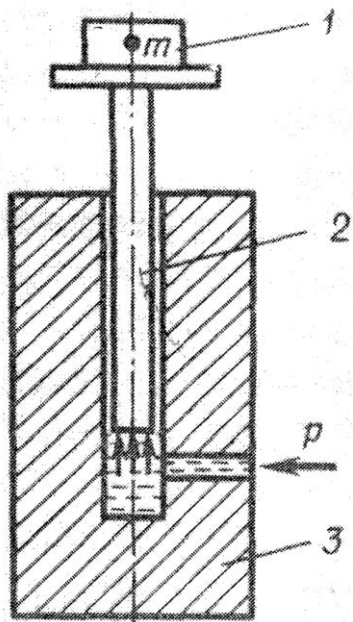


Рис. 27. Уравновешенный грузопоршневой манометр (к задачам 221, 222):

1 – тарировочный груз; 2 – поршень; 3 – измерительный цилиндр

223. В качестве упругого элемента пружинного манометра (рис. 24, а) используют мембрану диаметром 100 мм, толщиной 1 мм с модулем упругости $E_G=200$ ГПа. Найти перемещение центра мембраны при измеряемых давлениях 200, 500, 1000 кПа.

224. Мембрана пружинного манометра (рис. 24, а) диаметром 80 мм, толщиной 0,8 мм, с модулем упругости 150 ГПа деформируется под действием давления от 2 до 5 атм. Найти диапазон измеряемых давлений.

225. Выбрать такой диаметр мембраны пружинного манометра толщиной 1 мм, с модулем упругости 210 ГПа, чтобы перемещение центра мембраны при верхнем пределе измерения 10 атм составляло 8 мм.

226. Для мембраны пружинного манометра (рис. 24, а) толщиной 0,8 мм, диаметром 64 мм и модулем упругости 150 ГПа допустимое напряжение не должно превышать 450 МПа. Определить наибольшее измеряемое давление и максимально допустимое перемещение центра мембраны, если $E_G=200$ ГПа.

227. В качестве упругого элемента пружинного манометра используется плоская мембрана диаметром 80 мм и толщиной 1 мм с центральным диском диаметром 20 мм. Определить перемещение диска при давлениях 1; 2 и 5 атм, если начальное напряжение равно $\delta_0=50$ МПа.

228. Каким должно быть начальное напряжение плоской мембраны пружинного манометра диаметром 100 мм и толщиной 0,8 мм с центральным диском диаметром 30 мм, чтобы при давлении 2,5 кгс/см² перемещение диска составляло 5 мм?

229. Чувствительным элементом пружинного манометра служит мембранная коробка (рис. 24, а), составленная из двух мембран и прикрепленная к корпусу штуцером. Изменится ли чувствительность мембранной коробки, если ее прикрепить к корпусу в месте соединения мембран?

230. В качестве чувствительного элемента манометра использован сильфон (рис. 24, б) с внутренним диаметром 160 мм, внешним 940 мм и толщиной 1 мм с числом гофров 8. Определить перемещение дна сильфона при давлениях 0,2; 0,5; $1 \cdot 10^5$ Па, если модуль упругости его материала 180 ГПа.

231. Выбрать число гофров сильфона (рис. 24, б) $D_{вн}=200$ мм, $D_{н}=300$ мм и $h=0,8$ мм, чтобы при измерении давления до 0,5 кгс/м² перемещение составляло 10 мм. Модуль упругости принять равным $E_G=200$ ГПа.

232. Манометр (рис. 24, б) рассчитан на измерение давления до 1 кгс/см², причем в нем использован сильфон $D_{н}=200$ мм; $D_{вн}=100$ мм и $h=1$ мм. Число гофров 16, модуль упругости 200 ГПа. Определить передаточное число механизма, если длина шкалы прибора 100 мм.

233. В трубчато-пружинном манометре (рис. 24, в) однотрубная пружина радиусом $D/2=500$ мм с первоначальным углом закручивания $\alpha_0=270^\circ$ и параметрами поперечного сечения $a=20$ мм и $b=8$ мм выполнена из материала с $E_G=180$ МПа. Определить изменение угла закручивания и угла перемещения конца пружины при давлениях 5, 10 и 20 МПа.

234. Трубчато-пружинный манометр с однотрубной пружиной (рис. 24, в) предназначен для измерения давления до 50 атм, причем угол закручивания меняется от 270 до 180°. Каким должен быть модуль упругости материала пружины, если $a/b=2$, $a \cdot b=20$ мм и $D_0/2=100$ мм?

235. Как изменится чувствительность однотрубной пружины трубчато-пружинного манометра при увеличении начального угла закручивания и соотношения b/a ? Можно ли использовать однотрубную пружину с круглым сечением?

236. На рис. 28 приведена схема дистанционной передачи сигнала пружинного манометра. При изменении давления от 0 до 1 кгс/м² напряжение на обмотке первичного прибора меняется от 0 до 10 В. Каким должен быть коэффициент трансформации системы передачи, если измерительным прибором служит вольтметр с номинальным напряжением 100 В? Будет ли его шкала давления линейной?

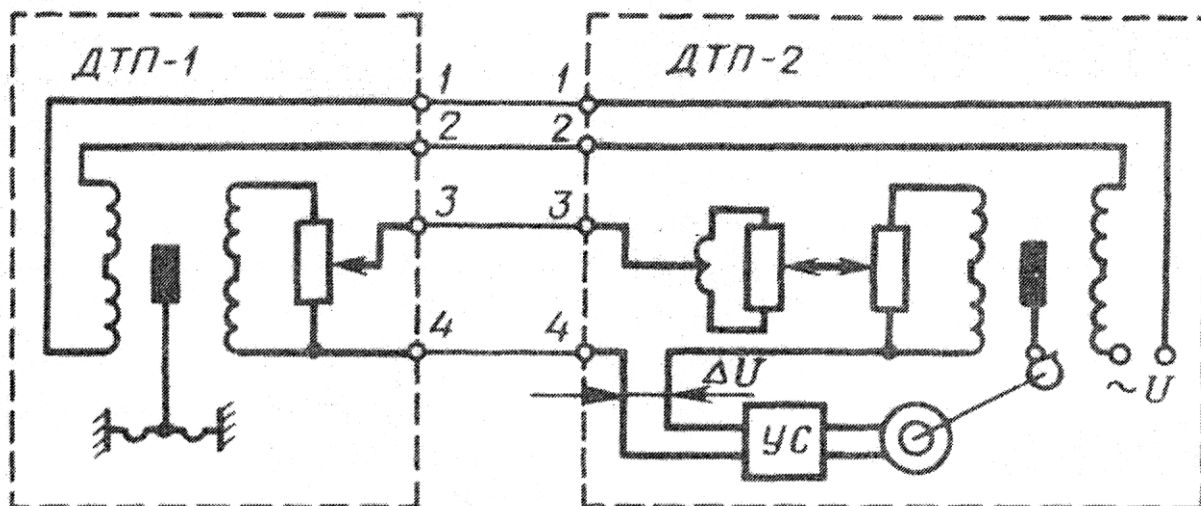


Рис. 28. Схема дистанционной передачи сигнала пружинного манометра (к задаче 236)

237. Определить напряжение на обкладках пьезоэлектрического преобразователя давления (рис. 25, а), состоящего из пяти пластинок кварца толщиной 1 мм и площадью поверхности 100 мм², если емкость измерительной цепи $C_{\text{вх}}=20\text{пФ}$, а к преобразователю приложено давление 0,5 МПа.

238. Напряжение на пьезокристалле кварца преобразователя давления (рис. 25, а) меняется от 10 до 50 В. Определить диапазон изменения давления в случае использования четырех пластин толщиной 0,8 мм и размером 20x10 мм каждая. Емкость измерительной цепи 10 пФ.

239. Подобрать число пластин пьезоэлектрического преобразователя так, чтобы при давлении 10 атм напряжение на его выходе было 30 В. Емкость преобразователя $C_0=5\text{ пФ}$, емкость измерительной цепи $C_{\text{вх}}=8\text{ пФ}$, площадь пластины $S=100\text{ мм}^2$.

240. Как влияют емкость и входное сопротивление вольтметра для измерения напряжения пьезокристалла на показания электрического манометра? Можно ли подключать пьезокристалл к вольтметру без промежуточного усилителя?

241. Тензодатчик сопротивлением 500 Ом и длиной 50 мм наклеен на мембрану деформационного манометра. При давлении 5 кПа его длина стала 55 мм. Определить чувствительность тензодатчика и изменение сопротивления, если $k_0=2$.

242. Тензодатчик с начальным сопротивлением 330 Ом и длиной 50 мм включен в схему неуравновешенного моста с $R_1=R_2=R_3=500$ Ом, к которому приложено напряжение $U_{num}=15$ В. Определить ток в измерительной диагонали моста при удлинении тензодатчика на 10 мм, если $k_d=1,5$. При каком удлинении ток будет равен нулю?

243. Усилие, приложенное к тонкой мембране площадью 100 мм² и $E_G=20$ ГПа, изменилось от 10 до 100 кН. В каких пределах изменится сопротивление наклеенного на мембрану тензодатчика с $k_d=2$ и $R_0=500$ Ом?

244. Каким образом в схеме (рис. 25, б) обеспечивается компенсация изменения сопротивления тензодатчика в результате влияния температуры? Каким должен быть температурный коэффициент материала тензодатчика, чтобы при изменении температуры на 50 °С сопротивление его менялось не более чем на 1%?

245. В схеме теплового вакуумметра (рис. 29) показания приборов следующие: $U_V=22$ мВ, $U=5$ В и $I=0,1$ А. Для измерения температуры используют термопару типа ТХК. Температура в камере измерения $T_0=50$ °С. Определить значение коэффициента рассеивания нити вакуумметра, если влиянием внутренних сопротивлений приборов можно пренебречь.

246. Коэффициент рассеивания нити вакуумметра (рис. 29) зависит от давления в пределах $10...100$ Па в соответствии с зависимостью $b = b_0 \cdot \left[1 + \alpha_b \cdot \sqrt{p - p_0} \right]$, где $b_0=5$ мВт/°С при $p_0=10$ Па и $\alpha_b=10^{-4}$ 1/Па. Определить значение температуры нити и построить график ее зависимости от давления $T=f(p)$, если $T_0=50$ °С, а мощность поддерживается постоянной $P=1$ Вт.

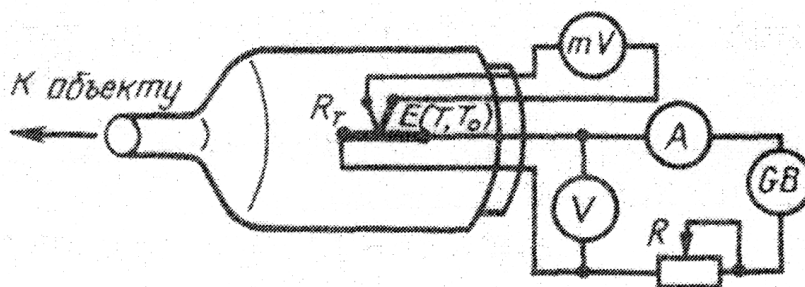


Рис. 29. Тепловой вакуумметр (к задачам 245, 246)

247. Для измерения давления воздуха используют емкостный манометр (рис. 25, в). При отсутствии давления расстояние между обкладкой и тонкой мембраной 1 мм, емкость прибора $C=100$ пФ. Определить значения емкости при перемещении мембраны на 0,2 и 0,8 мм при давлениях 10 и 40 кПа соответственно. Определить чувствительность емкостного манометра.

248. В качестве обкладок емкостного манометра используют два диска одного диаметра 10 мм, один из которых служит центральным диском плоской мембраны толщиной 1 мм и диаметром 50 мм. Модуль упругости $E_G=150$ ГПа, начальное напряжение 40 МПа. Определить начальную емкость манометра при расстоянии между дисками 1 мм. Для каких максимальных давлений можно использовать манометр?

249. Емкостный манометр используют для измерения давления молока от 10 до 50 кПа, причем емкость меняется от 4 до 20 пФ. В измерительной цепи его применяют в резонансном контуре с индуктивностью 0,1 мГн, питание которого от источника переменного напряжения с $f=4$ МГц. При каком давлении контур будет работать в режиме резонанса?

4 УРОВНЕМЕРЫ И СИГНАЛИЗАТОРЫ УРОВНЯ

Объектами автоматического контроля уровня в пищевых производствах часто оказываются как открытые, так и находящиеся под давлением резервуары для хранения жидкого сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, а также бункеры для сыпучих компонентов. В ряде случаев уровень вещества контролируется непосредственно в аппарате, например уровень диффузионного сока в головной части наклонного диффузионного аппарата.

Устройства для контроля уровня подразделяются на уровнемеры и сигнализаторы уровня. Первые обеспечивают возможность непрерывного измерения уровня в определенном диапазоне, а вторые – сигнализируют о достижении уровнем контролируемой среды некоторых предельных значений. Ряд приборов уровня сочетает в себе признаки как уровнемеров, так и сигнализаторов уровня.

4.1 Механические уровнемеры и сигнализаторы уровня наиболее распространены. В них контролируемое вещество механически воздействует на чувствительный элемент.

4.1.1 Поплавковый уровнемер (рис. 30, а) действует по принципу использования перемещения поплавка, находящегося на поверхности жидкости. Это перемещение затем с помощью механической или электрической передачи поступает на регистрирующий прибор. Уравнение равновесия системы имеет вид:

$$\rho_v \cdot V + m_{np} = m_n \pm m_{mp}, \quad (35)$$

где V – объем вытесняемой поплавком жидкости, м^3 ;

ρ_v – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

m_{np} , m_n , m_{mp} – соответственно массы противовеса, поплавок и неуравновешенной части троса, кг.

4.1.2 Контактно-механические уровнемеры (рис. 30, б) используют для измерения уровня сыпучих материалов. В них применяются специальные щупы, погружаемые до соприкосновения с поверхностью материала во время цикла измерения. Чувствительным элементом устройства служит реле ролика троса, которое срабатывает при его ослаблении в момент, когда груз ложится на поверхность контролируемой среды. Установка включается и выключается блоком управления, показания передаются дистанционно через сельсинную систему.

4.2 Гидростатические уровнемеры нашли применение в измерениях уровней различных жидкостей. Они основаны на принципе измерения давления столба жидкости или выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное в жидкость.

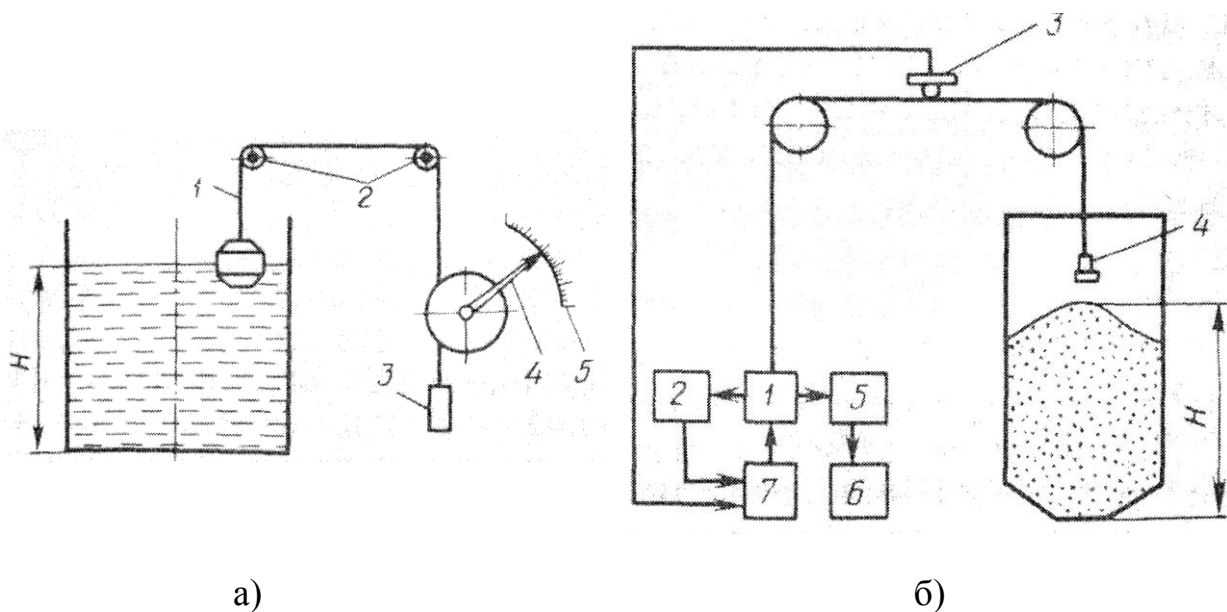


Рис. 30. Механические уровнемеры:

а – поплавковый: 1 – поплавок с тросом; 2 – блоки; 3 – противовес; 4 – указатель; 5 – шкала; *б* – контактно-механический: 1 – электромеханическая лебедка; 2 – электродвигатель; 3 – реле ролика троса; 4 – щуп; 5, 6 – сельсины; 7 – блок управления

4.2.1 Буйковые уровнемеры снабжены чувствительными элементами, погруженными в жидкость. Эти элементы удерживаются в жидкости на заданном уровне с помощью пружин, уравнивающих силу выталкивания. Уравнение равновесия измерительной части уровнемера имеет вид:

$$G \cdot \frac{b^2}{a} \cdot x = S \cdot l \cdot g \cdot h \cdot \rho_v, \quad (36)$$

где a, b, l – приведенные на рис. 31, а размеры, м;
 G – жесткость пружины, Н/м;
 S – площадь сечения буйка, м².

4.2.2 Пьезометрические уровнемеры (рис. 31, б) основаны на принципе продувания воздуха через трубку, опущенную в резервуар, и измерения давления, связанного со статическим напором жидкости p . Напор p пропорционален высоте столба жидкости h над выходным отверстием трубки:

$$p = \rho_v \cdot g \cdot h, \quad (37)$$

где g – ускорение силы тяжести м²/с.

4.2.3 Дифманометры – уровнемеры (рис. 31, в) основаны на принципе измерения разности давлений жидкости в резервуаре и уравнительном сосуде. Эти приборы характеризуются высокой точностью измерения.

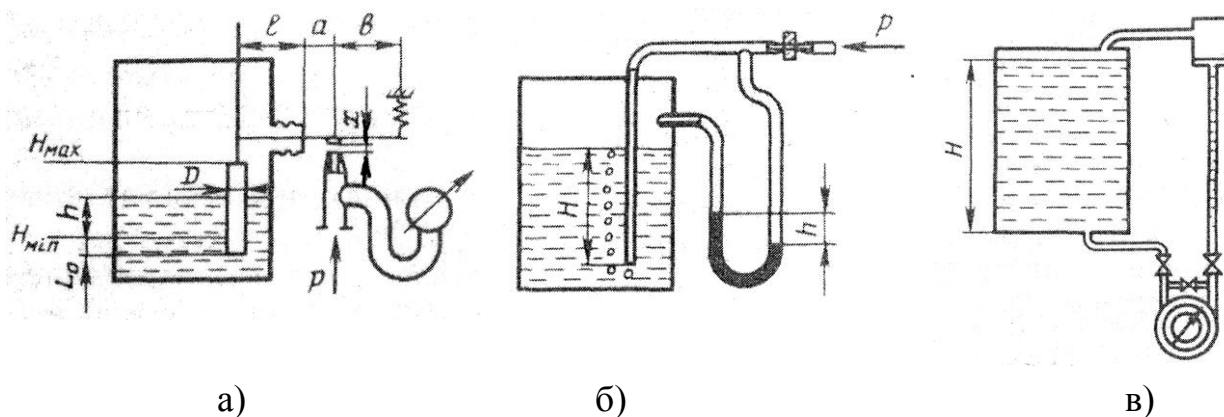


Рис. 31. Гидростатические уровнемеры:
а – буйковый; *б* – пьезометрический; *в* – дифманометр-уровнемер

4.3 Электрические преобразователи уровня основаны на использовании емкостного метода, т.е. зависимости емкости конденсаторного устройства от уровня заполняющей его жидкости.

4.3.1 Уровнемер для непроводящих (диэлектрических) жидкостей показан на рис. 32, а. Устройство состоит из параллельно соединенных конденсаторов C_1 (образован частью электродов и диэлектрической жидкостью, уровень которой измеряется) и C_0 (образован частью электродов и воздухом). Емкость определяют по уравнению:

$$C = C_1 + C_0 = \left[l \cdot \varepsilon_a + l_0 - l \cdot \varepsilon_o \right] \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\ln \left(\frac{D_1}{D_2} \right)}, \quad (38)$$

где l_0 и l – полная длина цилиндра и часть длины цилиндра, которая заполнена жидкостью, м;

ε_o и ε_a – абсолютные диэлектрические проницаемости воздуха и жидкости, Ф/м; D_1 и D_2 – диаметры внешнего и внутреннего цилиндров, м.

4.3.2 Емкостный уровнемер для измерения уровня проводящих жидкостей показан на рис. 32, б. В качестве одного электрода используют остеклованный зонд, другого – жидкость, связанную с измерительной цепью с помощью проводящего электрода. Емкость устройства определяют по формуле:

$$C = h \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_a}{\ln \left(\frac{D_1}{D_2} \right)}, \quad (39)$$

где h – глубина погружения зонда, м;

ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемости стекла, Ф/м; D_1 и D_2 – внешний и внутренний диаметр зонда, м.

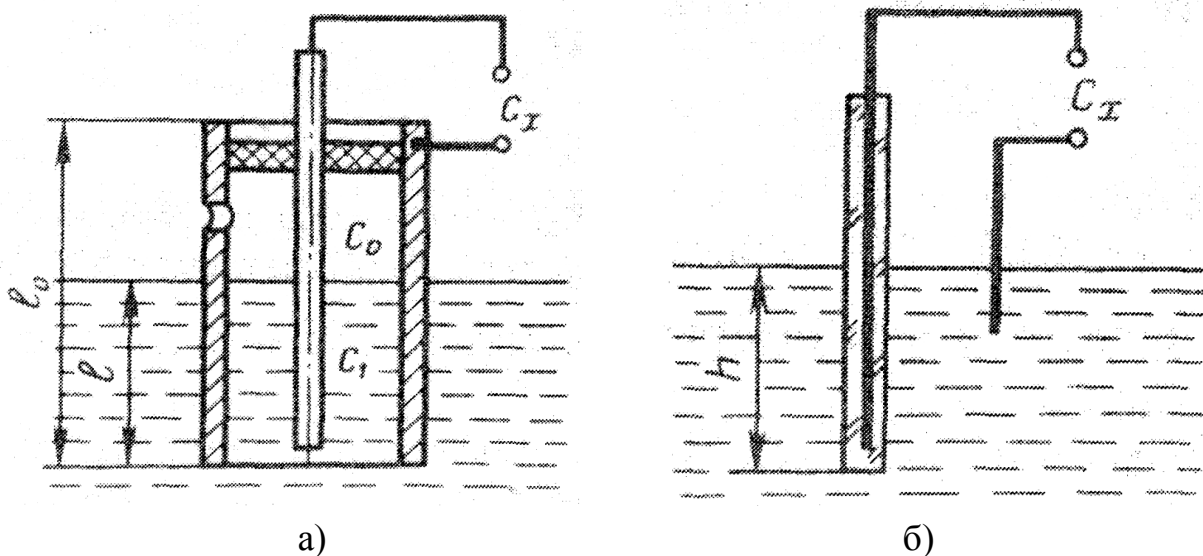


Рис. 32. Емкостные уровнемеры для жидкостей:
а – диэлектрических; б – проводящих электрический ток

4.4 Волновые уровнемеры действуют по принципу отражения звуковых или ультразвуковых волн от поверхности жидкости или сыпучего вещества. Обобщенная принципиальная схема такого уровнемера приведена на рис. 33.

Обычно в волновых уровнемерах измеряется время запаздывания τ отраженного сигнала относительно излучаемого:

$$\tau = \frac{2 \cdot h}{V}, \quad (40)$$

где h – расстояние от излучателя до поверхности жидкости или сыпучего вещества, м;

V – скорость распространения волны в среде над контролируемой поверхностью, м/с.

Скорость распространения электромагнитной волны зависит от свойств среды:

$$V = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_a \cdot \mu_a}}, \quad (41)$$

где ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемости среды, Ф/м;

μ_a – абсолютная магнитная проницаемость среды, Гн/м.

Скорость распространения диэлектрической волны в воздухе составляет $229 \cdot 10^6$ м/с.

Скорость звуковой волны определяется как

$$V = \sqrt{\frac{\epsilon_c \cdot p}{\rho}} = \sqrt{\epsilon_c \cdot R_k \cdot T}, \quad (42)$$

где ϵ_c – коэффициент сжимаемости воздуха, м²/Н;

R_k – универсальная газовая постоянная, равная 8134 (Дж/(кг·К));

p и T – давления и абсолютная температура воздуха, соответственно Па и К.

Волновые уровнемеры применяются обычно для измерения уровня от 0 до 30 м.

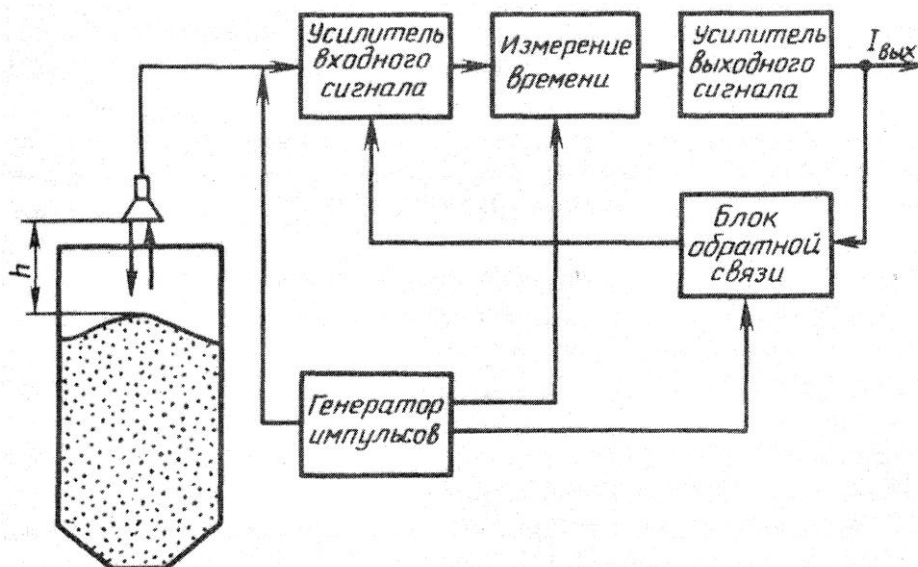


Рис. 33. Схема волнового уровнемера

4.5 Задачи

250. В поплавковом уровнемере (рис. 30, а) масса поплавка 2,8 кг, объем 420 см^3 , масса противовеса 2 кг. При измерении верхнего уровня поплавки находятся на расстоянии 5 м от дна резервуара, а противовес – на расстоянии 2 м, масса троса 0,2 кг на погонный метр. Определить, какая часть объема поплавка будет погружена, если плотность измеряемой жидкости 950 кг/м^3 .

251. Масса поплавка уровнемера (рис. 30, а) 3 кг. При измерении нижнего уровня он находится на расстоянии 0,2 м от дна резервуара, а противовес массой 2 кг – на высоте 3,5 м. Масса троса 0,2 кг на погонный метр. Определить наименьший объем, который должен иметь поплавок, если плотность жидкости 1000 кг/м^3 .

252. Для использования в уровнемере поплавков должен иметь массу 3 кг и объем 8000 см^3 . Конструктивно он выполнен в виде полого шара из стали. Определить толщину оболочки поплавка, если плотность стали 8000 кг/м^3 .

253. При градуировке поплавкового уровнемера на воде плотностью 1000 кг/м^3 поплавки и противовес находились на одном уровне. Масса поплавка 16 кг, масса груза противовеса 1 кг. Как нужно откорректировать груз, чтобы уровнемер можно было использовать для определения уровня молока с плотностью 990 кг/м^3 ?

254. Определить передаточное число редуктора поплавкового уровнемера (рис. 30, а), одно из колес которого связано с барабаном, наматывающим трос, другое – со стрелкой указателя, если при перемещении поплавка от 0 до 1,5 м угол поворота указателя равен 270° . Диаметр барабана 100 мм.

255. Какая из конструкций поплавка уровнемера предпочтительней при одинаковой его массе: приведенная на рис. 30, а; цилиндр; шар?

256. Контактно-механический уровнемер (рис. 30, б) рассчитан на измерение уровня до 5 м. Сколько оборотов сделает электромеханическая лебедка диаметром 0,5 м? Выбрать коэффициент передачи редуктора, связывающего лебедку с сельсином-датчиком, если его поворот должен быть не более 180° .

257. Расстояние от электромеханической лебедки диаметром 0,5 м до оси блоков контактно-механического уровнемера (рис. 30, б) равно 2 м, расстояние между блоками диаметрами 0,2 м равно 0,5 м. Определить длину троса, если дно резервуара с контролируемым веществом находится на расстоянии 8 м от оси блоков, а при измерении нижнего уровня трос намотан одним оборотом вала лебедки.

258. Объяснить, по каким причинам контактно-механический уровнемер, отградуированный на жидкости, дает погрешность измерения уровня зерна. Технических неисправностей не обнаружено.

259. На рис. 34 приведена принципиальная схема мембранного сигнализатора уровня. При каком давлении среды сработает сигнализатор с мембраной диаметром 50 мм и толщиной 0,5 мм, если модуль упругости материала мембраны $E=20$ ГПа, а рабочий ход микропереключателя 2 мм?

260. Мембранный сигнализатор (рис. 34) используют для сигнализации верхнего уровня жидкости плотностью $\rho_V=950$ кг/м³. При какой толщине слоя над осью мембраны включится сигнализатор, если давление срабатывания мембраны 50 кгс/м²?

261. Перечислить конструктивные способы повышения чувствительности мембранных сигнализаторов уровня, т.е. снижения давления срабатывания микропереключателя.

262. Максимальное отклонение заслонки относительно сопла x в схеме буйкового уровнемера (рис. 31, а) равно 0,5 мм. Параметры рычажной уравновешивающей системы: $a=20$ мм, $b=80$ мм, $l=200$ мм, $G=5$ Н/мм. Определить максимальный уровень жидкости номинальной плотностью $\rho_V=950$ кг/м³, который можно измерить с помощью буйка диаметром 40 мм.

263. Показания пневматического манометра (рис. 31, а) меняются от 0,2 до 0,5 кгс/см². Каким значениям уровня соответствуют эти давления, если давление пропорционально перемещению x заслонки с коэффициентом $k=10$ кгс/см³? Параметры рычажной системы: $a=30$ мм, $b=100$ мм, $l=400$ мм, $G=6$ Н/мм. Боек диаметром 20 мм погружен в жидкость плотностью $\rho_V=1200$ кг/м³.

264. Какой должна быть жесткость уравновешивающей пружины буйкового уровнемера воды (рис. 31, а) плотностью $\rho_V=1000$ кг/м³, чтобы при максимальном уровне 1 м отклонение сопла от заслонки было 1 мм? Диаметр буйка 20 мм, $a=20$ мм, $l=1,5$ $b=200$ мм.

265. Какой минимальный уровень жидкости номинальной плотностью $\rho_V=950$ кг/м³ можно измерить с помощью буйкового уровнемера, если масса буйка 5 кг, диаметр 40 мм?

266. Показания дифманометра пьезометрического уровнемера 1000, 5000, 7000 Па. Определить значения уровня жидкости номинальной плотностью $\rho_V=880 \text{ кг/м}^3$ в резервуаре (рис. 31, б).

267. Пьезометрический уровнемер отградуирован на измерение расхода молока номинальной плотностью $\rho_V=920 \text{ кг/м}^3$ при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Шкала дифманометра с пределом измерения 0,05 атм отградуирована в единицах уровня. Определить чувствительность прибора и погрешность измерения максимального уровня при колебаниях температуры $20\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициент объемного расширения молока $10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

268. Пьезометрический уровнемер (рис. 31, б) рассчитан на измерение уровня до 0,5 м в жидкости плотностью 1200 кг/м^3 . Абсолютное давление в резервуаре 0,5 атм. Определить минимальное давление воздуха в пьезометрической трубке, необходимое для измерения максимального уровня.

269. Давление в напорной трубке уровнемера (рис. 31, б) 2 атм. Плотность воды в открытом резервуаре при нормальных атмосферных условиях $\rho_V=1000 \text{ кг/м}^3$. Какой максимальный уровень можно измерить пьезометрическим уровнемером?

270. Давление воздуха в напорной трубке пьезометрического манометра для измерения уровня жидкости плотностью $\rho_V=970 \text{ кг/м}^3$ приблизительно на 0,2 атм больше, чем требуется для преодоления гидростатического давления жидкости и давления в резервуаре. Найти давление и необходимый расход воздуха в трубке диаметром 4 мм, при которых обеспечивается надежный контроль его поступления. Из трубки должно входить в жидкость не менее двух пузырьков воздуха в секунду. Диапазон измерения уровня до 1 м.

271. Для измерения уровня жидкости в закрытом резервуаре используют дифференциальный манометр (рис. 31, в). Определить показания прибора при изменении уровня от 1 до 3 м, если плотность жидкости $\rho_V=1050 \text{ кг/м}^3$, давление воздуха в резервуаре 2 атм. Найти давления в плюсовой и минусовой трубках манометра.

272. Для измерения уровня жидкости плотностью $\rho_V=1050 \text{ кг/м}^3$ в открытом резервуаре используют дифференциальный манометр, минусовая трубка которого соединена с атмосферным воздухом. Определить показания манометра при нулевом уровне и максимальном уровне воды 5 м, если он расположен ниже нулевого уровня резервуара на 3 м.

273. Дифманометр-уровнемер отградуирован при температуре воды в резервуаре и в импульсных трубках $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить погрешность измерения уровня, если температура воды в емкости увеличилась до $90 \text{ }^\circ\text{C}$, а в импульсной трубке не изменилась. Плотность воды в емкости менялась при этом от 995 до 965 кг/м^3 .

274. Каким образом надо подключать плюсовые и минусовые трубки дифманометра (рис. 31, в), чтобы уровнемер показывал: снижение уровня жидкости относительно верхнего предела; повышение уровня относительно нижнего предела?

275. На рис. 35 приведена схема простейшего гидростатического уровнемера - водомерного стекла. Определить объем и массу воды в измерительном резервуаре диаметром 1 м, если максимальный уровень в трубке соответствовал 0,8 м. Плотность воды 990 кг/м^3 .

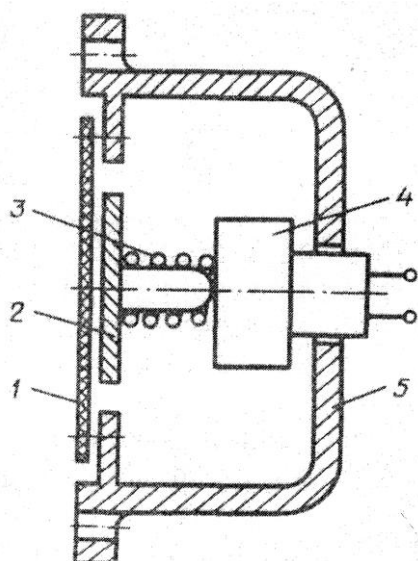


Рис. 34. Мембранный сигнализатор уровня (к задачам 259÷261):

1 – мембрана; 2 – диск; 3 – возвратная пружина; 4 – микропереключатель; 5 – корпус

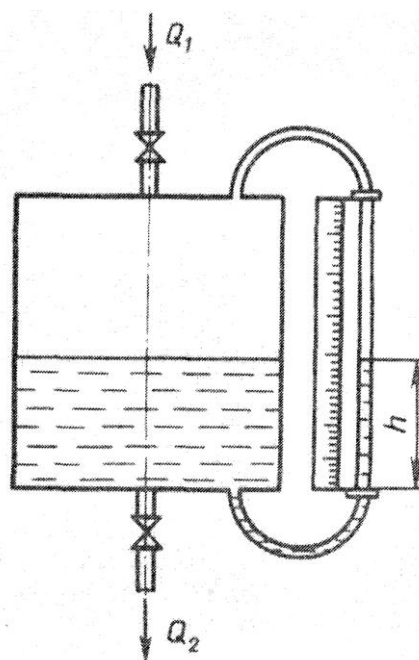


Рис. 35. Гидростатический уровнемер – водомерное стекло (к задаче 275)

276. Для измерения уровня воды используют цилиндрический конденсатор (рис. 32, а). Длина цилиндров 1,5 м, диаметры 40 мм и 5 мм. Определить наибольший диапазон изменения емкости конденсатора.

277. Начальная емкость конденсатора емкостного уровнемера (рис. 32, а) при отсутствии жидкости в нем 50 пФ. Определить значения емкости при значениях уровня $0,25$; $0,5$; $0,75 \cdot h_{max}$ для жидкости с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon=8$.

278. Определить значение чувствительности емкостного уровнемера для измерения уровня жидкости ($\epsilon=7,5$), если соотношение $\frac{D_1}{D_2}=20$. Каким должно

быть соотношение $\frac{D_1}{D_2}$, чтобы чувствительность повысилась в 2 раза? Полная длина цилиндрического конденсатора 1 м.

279. Конструктивная (или начальная) емкость конденсатора уровнемера (рис. 32, б) 50 пФ. Определить значения емкости при изменении уровня погружения от 0 до 1 м, если диэлектрическая проницаемость стекла $\epsilon=10$, диаметр конденсатора 16 мм, толщина стеклянного покрытия 1 мм.

280. Емкостный уровнемер отградуирован при глубине погружения 0,5 м и емкости конструктивных элементов соединительной линии $C_0=20$ пФ. Определить систематическую погрешность измерения уровня в случае использования соединительной линии с $C_0=60$ пФ, если толщина стекла 0,5 мм, проницаемость $\varepsilon=8$, внешний диаметр конденсатора 20 мм.

281. По технологии изготовления стержневых конденсаторов толщина изоляционного покрытия ($\varepsilon=5$) должна быть не меньше 0,2 мм. Какую максимальную чувствительность можно получить в уровнемере диаметром 60 мм?

282. Указать основные способы повышения чувствительности емкостных уровнемеров. Влияет ли емкость измерительных цепей на чувствительность уровнемеров (рис. 32)?

283. Чувствительность емкостного уровнемера 10 нФ/м. Определить изменение реактивного сопротивления конденсатора при измерении уровня от 0,5 до 1 м, если измерительная цепь подключается к источнику переменного напряжения частотой 10 кГц. Емкостью соединительных линий пренебречь.

284. Уровнемер с начальной емкостью 50 пФ и чувствительностью 0,1 нФ/м включен в резонансный контур с индуктивностью $L=0,1$ мГн, на который подается напряжение частотой 1 мГц. Определить емкость конденсатора, подключенного параллельно конденсатору уровнемера, при которой резонанс происходит при достижении уровня 0,8 м.

285. На рис. 36 приведена принципиальная схема включения кондуктометрического сигнализатора уровня. Найти наибольшее сопротивление измеряемой среды между электродами, при котором срабатывает реле, если сопротивление его обмотки 100 Ом, а ток срабатывания 75 мА.

286. При измерении уровня радиоволновым методом (рис. 33) время запаздывания отраженного сигнала равно 0,1 мкс. Определить уровень вещества, если радиоизлучатель находится на высоте 25 м над дном резервуара.

287. Максимальный уровень жидкости в резервуаре составляет 10 м, источник излучения уровнемера (рис. 33) находится на расстоянии 19 м от его дна. На какой частоте должен работать излучатель, чтобы после отражения на приемник приходило не менее трех волн радиосигнала? Определить время запаздывания отраженного сигнала в этом случае.

288. Определить время запаздывания отраженного акустического сигнала при изменении расстояния между источником и поверхностью зерна от 10 до 5 м, если температура воздуха 293 К. Коэффициент сжимаемости $\varepsilon_c=1,3$ м²/Н.

289. Какое минимальное изменение уровня можно измерить с помощью акустического уровнемера, если разрешающая способность блока регистрации интервала времени составляет 0,1 мс? Состояние воздуха: $p=760$ мм рт. ст., $\rho_v=1,13$ кг/м³, $\varepsilon_c=1,2$ м²/Н.

290. Акустический уровнемер отградуирован при нормальных атмосферных условиях ($p=760$ мм рт. ст. и $T=293$ К). Определить относительную погрешность измерения уровня при 780 мм рт. ст. и $T=308$ К.

291. Статическая характеристика акустического уровнемера описывается выражением $I = 10 + k_H \cdot h^2$ (мА). Найти выходной ток и чувствительность уровнемера при $h=2; 4; 10$ м, если $k_H=1$ мА/м².

292. В схеме сигнализатора уровня (рис. 37) используется перемещение магнита, связанного с флажком относительно магнитоуправляемых контактов (МУК). Флажок установлен в контролируемом резервуаре. При каком значении сопротивления R в случае замыкания контактов ток не превышает номинального значения 0,1 А? Напряжение на вторичной обмотке трансформатора 36 В. Найти мощность, выделяемую на этом резисторе.

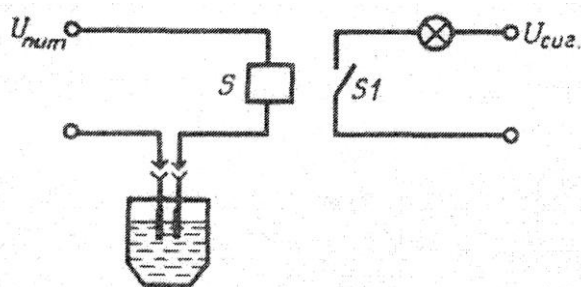


Рис. 36. Кондуктометрический сигнализатор уровня (к задаче 285)

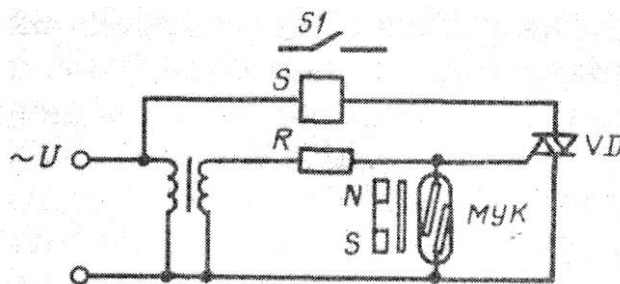


Рис. 37. Сигнализатор уровня с магнитоуправляемыми контактами МУК (к задаче 292)

5 ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЕЩЕСТВ

5.1 Приборы для определения влажности

Влажность воздуха, газовых сред и большинства веществ органического происхождения – важный параметр многих технологических процессов.

Измерение и автоматическое регулирование влажности необходимы в производственных и складских помещениях при проведении таких технологических процессов, как сушка. Для этого применяются психрометрические и конденсационные влагомеры.

5.1.1 Психрометрические влагомеры наиболее распространены. Принцип действия их основан на использовании зависимости разности температур сухого и влажного термометров от относительной влажности воздуха. Для определения влажности (%) пользуются психрометрической таблицей (приложение 6) или следующей формулой:

$$\varphi = \frac{p_s - A_\varphi \cdot p \cdot (t_c - t_b)}{p_c} \cdot 100, \quad (43)$$

где p_s и p_c – давления насыщенного пара при температурах влажного и сухого термометров, Па;

A_φ – психрометрический коэффициент (при неподвижном воздухе $A_\varphi=6,5 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$);

p – атмосферное давление, Па;

t_c и t_b – температуры, показываемые сухим и влажным термометрами, °С.

Психрометры оснащены двумя одинаковыми термометрами, один из которых постоянно увлажняется. В автоматических психрометрах применяют различные мостовые схемы, как например, на рис. 38, а.

5.1.2 Конденсационные влагомеры основаны на определении относительной влажности по температуре, до которой необходимо охладить (при постоянном давлении) ненасыщенный газ, чтобы довести его до состояния насыщения (так называемый метод точки росы). Зная температуру точки росы, по таблицам насыщенного водяного пара определяют влажность газа. Точка росы контролируется визуально или с помощью фотоэлектрических элементов. При расчетах можно пользоваться следующим выражением для относительной влажности:

$$\varphi = \frac{a + T - b \cdot (-T_d)}{a + T + b \cdot (-T_d)} \cdot 100, \quad (44)$$

где T и T_d – температуры газа (воздуха) и точки росы, К;

a и b – постоянные коэффициенты (в диапазоне температур воздуха 293÷313 К $a=105, b=3,9$).

Схема автоматического конденсационного влагомера приведена на рис. 38, б. Температура воздуха определяется отдельным термометром (на схеме не показан), температура точки росы – с помощью термоэлектрического преобразователя. Зеркало охлаждается холодильным устройством (полупроводниковой термобатареей), а момент выпадения росы фиксируется оптической системой.

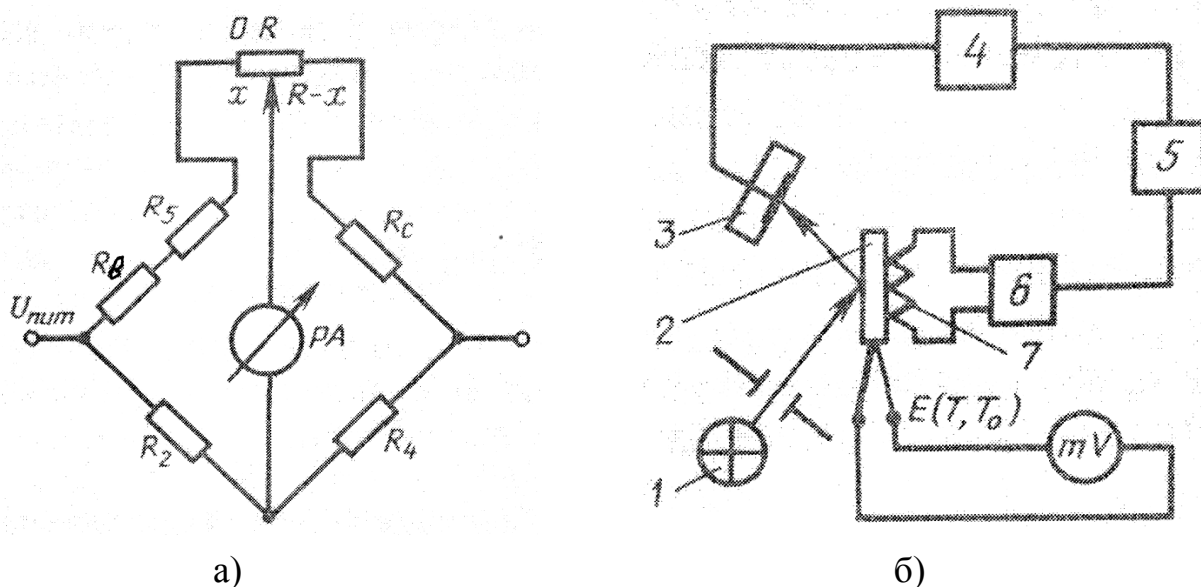


Рис. 38. Влагомеры для определения влажности воздуха:

a – психрометр; b – гигрометр (конденсационный влагомер): 1 – источник света; 2 – зеркало; 3 – фотоэлемент; 4 – усилитель; 5 – реле; 6 – холодильник; 7 – охлаждающий элемент

5.1.3 Влажность сыпучих пищевых продуктов характеризует их качество, способность к хранению. Во многих случаях от влажности зависят поправки при определении массы зерна, муки, комбикормов и т.д.

5.1.3.1 Термогравиметрический метод, или метод высушивания, служит для определения влажности как твердых, так и сыпучих веществ. При этом относительную влажность (%) определяют по отношению массы влаги $m_{вл}$ к общей массе влажного материала m :

$$\varphi = \frac{m_{вл}}{m} \cdot 100, \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{m_{вл}}{m_0 + m_{вл}} \cdot 100, \quad (45)$$

где m_0 – масса сухого вещества, кг.

Массу вещества измеряют до и после полного высушивания, поэтому необходимы весы и сушильная установка. Метод отличается высокой точностью, но требует достаточно много времени.

5.1.3.2 Кондуктометрические влагомеры (рис. 39, а) основаны на использовании зависимости электрического сопротивления вещества от его влажности:

$$R = \frac{A_R}{\varphi^k}, \quad \text{или} \quad R = R_0 \cdot \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^k, \quad (46)$$

A_R и k – постоянные коэффициенты, зависящие от свойств контролируемого вещества и условий применения;

R_0 – значение сопротивления при влажности φ_0 , Ом.

Кроме влажности, на сопротивление вещества влияют также уплотнение и температура, что необходимо учитывать при измерениях.

5.1.3.3 Емкостные влагомеры работают по принципу изменения емкости конденсатора, в котором измеряемое вещество играет роль диэлектрика, с изменением его влажности. Для большинства сухих пищевых продуктов относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon=5\div 10$, тогда как для воды $\varepsilon=81$, т.е. метод обладает достаточно высокой чувствительностью. Обычно используют цилиндрические конденсаторы (рис. 39, б), для которых:

$$C = \frac{2 \cdot \varepsilon_a \cdot \pi \cdot l}{\ln \left(\frac{D_2}{D_1} \right)}, \quad (47)$$

где ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость материала, Ф/м;

l – высота слоя измеряемого вещества, м;

D_1, D_2 – внешний и внутренний диаметры измерительного конденсатора, м.

Для обеспечения необходимой точности измерений в емкостных влагомерах нормируют массу и уплотнение сыпучего вещества.

5.1.3.4 СВЧ-влагомеры (рис. 39, в) основаны на использовании поглощения электромагнитной волны влагой, содержащейся в веществе:

$$P = P_0 \cdot \exp \left(\frac{-4 \cdot \pi \cdot k \cdot d}{\lambda} \right), \quad (48)$$

где P и P_0 – мощности сигнала в приемном и передающих волноводах, Вт;

k – коэффициент абсорбции влаги;
 d – толщина слоя материала, м;
 λ – длина волны, м.

Для того чтобы обеспечить наибольшее затухание, толщину слоя материала выбирают из условия $donm = \frac{\lambda}{k}$.

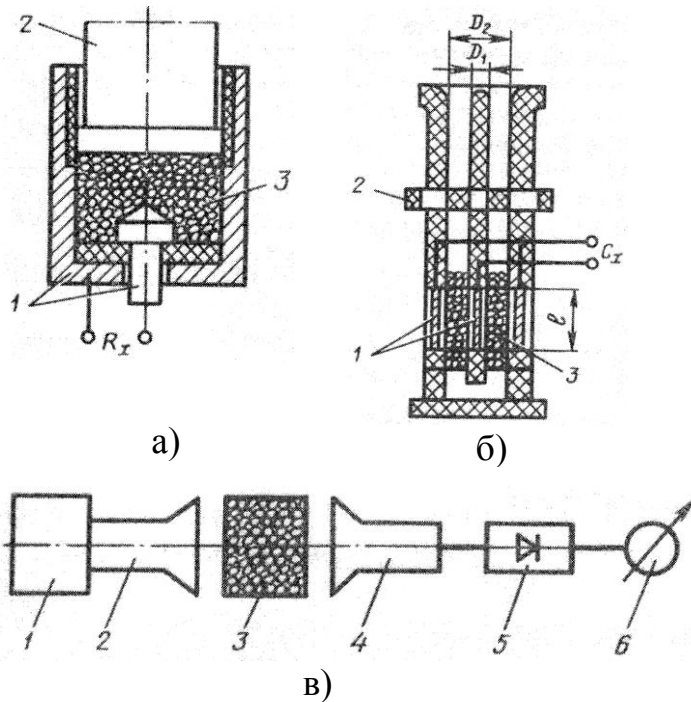


Рис. 39. Электрические влагомеры:

а – кондуктометрический: 1 – электроды; 2 – уплотняющий поршень; 3 – контролируемое вещество;

б – емкостный: 1 – обкладки; 2 – нормирующая уплотнение заслонка; 3 – контролируемое вещество;

в – СВЧ-влагомер:

1 – генератор СВЧ-диапазона; 2 – передающий волновод; 3 – контролируемое вещество; 4 – приемный волновод; 5 – детектор; 6 – регистрирующий прибор

5.1.3.5 *Тепловые влагомеры* служат для измерения влажности сыпучих пищевых продуктов. Действие их основано на зависимости теплопроводности и теплоемкости веществ от влажности. Это изменение определяет значение коэффициента рассеивания в формуле (18), что позволяет пользоваться методами определения влажности путем измерения температуры металлических или полупроводниковых терморезисторов. Кроме того, влажность существенно влияет на тепловую инерционность термопреобразователей, что позволяет определять влажность по времени изменения температуры терморезистора.

5.2 Приборы для определения концентрации веществ

При анализе газов часто бывает необходимо определить концентрацию того или иного компонента. Для этого применяют газоанализаторы различных типов.

5.2.1 *Тепловые газоанализаторы* (рис. 40, а) основаны на принципе значительного различия теплопроводности компонентов газовой смеси. Приведенная мостовая схема балансируется тогда, когда теплопроводности эталонного λ_{T_0} и анализируемого λ_T газов одинаковы. В этом случае одинаковы как температуры чувствительных терморезисторов, так и их сопротивления R_3 и R_7 .

Напряжение разбаланса $U_{вых}$ пропорционально концентрации α_T контролируемого компонента:

$$U_{\text{вых}} = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \alpha_T \cdot I \cdot R_0 \cdot \frac{\lambda_T - \lambda_{T_0}}{\lambda_T \cdot \lambda_{T_0}}, \quad (49)$$

где D – диаметр камеры, в которую помещены терморезисторы длиной l и диаметром d , м;

R_0 – градуировочное значение сопротивления при $T_0=0$ °С, Ом;

λ_{T_0} – коэффициент теплопроводности эталонного газа при $T_0=0$ °С, Вт/(м·К).

Тепловые газоанализаторы применяются для определения концентрации в газовых смесях водорода ($\lambda_{T_{H_2}} \approx 7 \cdot \lambda_{T_{\text{возд}}}$), хлора ($\lambda_{T_{Cl}} \approx \frac{\lambda_{T_{\text{возд}}}}{3}$), диоксида углерода ($\lambda_{T_{CO_2}} \approx \frac{\lambda_{T_{\text{возд}}}}{2}$) и ряда других газов.

5.2.2 Оптические газоанализаторы (рис. 40, б) основаны на использовании зависимости оптических свойств газовой смеси от концентрации определяемого компонента. Прибором измеряются степени поглощения инфракрасного или ультрафиолетового излучений анализируемым газом:

$$P = P_0 \cdot \exp -\varepsilon_{\lambda} \cdot \nu \cdot d, \quad (50)$$

где P_0 и P – интенсивности входящего (эталонного) и выходящего потоков излучения, Вт/м²;

ε_{λ} – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны, 1/(моль·м):

ν – концентрация компонента, моль;

d – толщина слоя газа, м.

При различии степеней поглощения в измерительной и эталонной камерах на вход усилителя подается разностный сигнал. Регистрирующий прибор РА отградуирован в единицах концентрации.

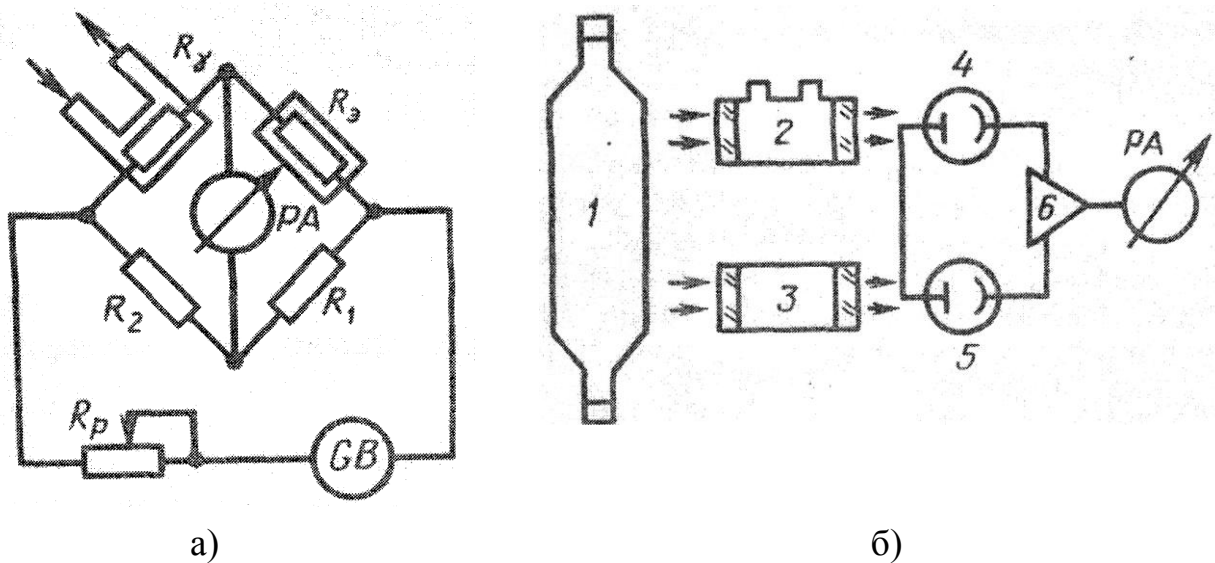


Рис. 40. Газоанализаторы:

a – тепловой: R_4 и R_3 – измерительная и эталонная ячейки; *б* – оптический: 1 – излучатель; $2, 3$ – измерительная и эталонная камеры; $4, 5$ – фотоэлементы; 6 – балансовый усилитель

определения концентрации проводящих и электролитических жидкостей. Наиболее распространены электрохимические анализаторы (рис. 41), в которых используется свойство проводимости электролитов. **Плотность жидкости** также является одним из показателей, характеризующих ее свойства. Для контроля плотности применяют различные плотномеры.

5.3.1 Кондуктометрические анализаторы (рис. 41, а) обычно работают на переменном токе, так как при постоянном токе возникает электролиз жидкости и поляризация электродов. Активная составляющая сопротивления пропорциональна площади электродов S и обратно пропорциональна расстоянию l между ними:

$$R = \frac{k_{ия}}{\sigma_R}, \quad (51)$$

где $R_{ия}$ – постоянная измерительной ячейки, равная l/S , m^{-1} ;
 σ_R – удельная проводимость электролита, Cm/m .

5.3.2 В потенциометрических анализаторах используется явление возникновения электрического потенциала в процессе диссоциации растворов. При анализе жидкостей в пищевых производствах наиболее часто используют приборы для определения концентрации ионов водорода (рН-метры). В качестве меры активности ионов водорода принята величина рН, равная:

$$pH = \lg \frac{1}{a_n} = -\lg a_n, \quad (52)$$

где a_n – активность ионов водорода в грамм-ионах на литр.

Для чистой воды при температуре 22 °С рН=7. Изменение величины рН на одну единицу соответствует десятикратному изменению активности кислоты или щелочи. Активность ионов водорода не есть содержание кислоты или щелочи в растворе.

Для измерения рН используются электродные системы избирательного действия (рис. 41, б).

Между поверхностью стекла и контролируемым раствором возникает разность потенциалов E_x , величина которой определяется активностью ионов водорода a_n в растворе:

$$E_x = \frac{R \cdot T}{F} \cdot \ln a_n = -2,3 \cdot \frac{R_k \cdot T}{F} \cdot pH, \quad (53)$$

где R_k – универсальная газовая постоянная, $R_k=8,314$ Дж/(К·моль);

T – абсолютная температура раствора, К;

F – число Фарадея; $F=96500$ Кл/Г-экв.

Электродвижущая сила электронной системы рН-метра равна алгебраической сумме ЭДС (рис. 41, б):

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_x, \quad (54)$$

где E – ЭДС электронной системы;

E_1 – ЭДС, возникающая на внутренней поверхности стеклянного электрода;

E_2 – ЭДС, возникающая на внутреннем электроде, осуществляющем электрический контакт с раствором, заполняющим внутреннюю часть стеклянного электрода;

E_3 – ЭДС, возникающая на внешнем вспомогательном электроде, осуществляющем электрический контакт с контролируемым раствором, который защищен трубкой, заполненной насыщенным раствором хлористого калия;

E_x – ЭДС, возникающая на наружной поверхности стеклянного электрода, определяемая величиной рН и температурой раствора.

Величины E_1 , E_2 , E_3 не зависят от состава контролируемого раствора и изменяются только при изменении температуры.

Зависимость ЭДС от величины рН определяется свойствами стекла и характеризуется коэффициентом крутизны характеристики S электродной системы.

Для идеального (водородного) электрода крутизна характеристики S равна:

$$S = 2,3 \cdot \frac{R_k \cdot T}{F} = 54,19 + 0,198 \cdot t_p, \quad (55)$$

где S – крутизна характеристики, мВ/рН;

t_p – температура раствора, °С.

Электродные системы со стеклянным электродом обычно имеют меньшую крутизну характеристики.

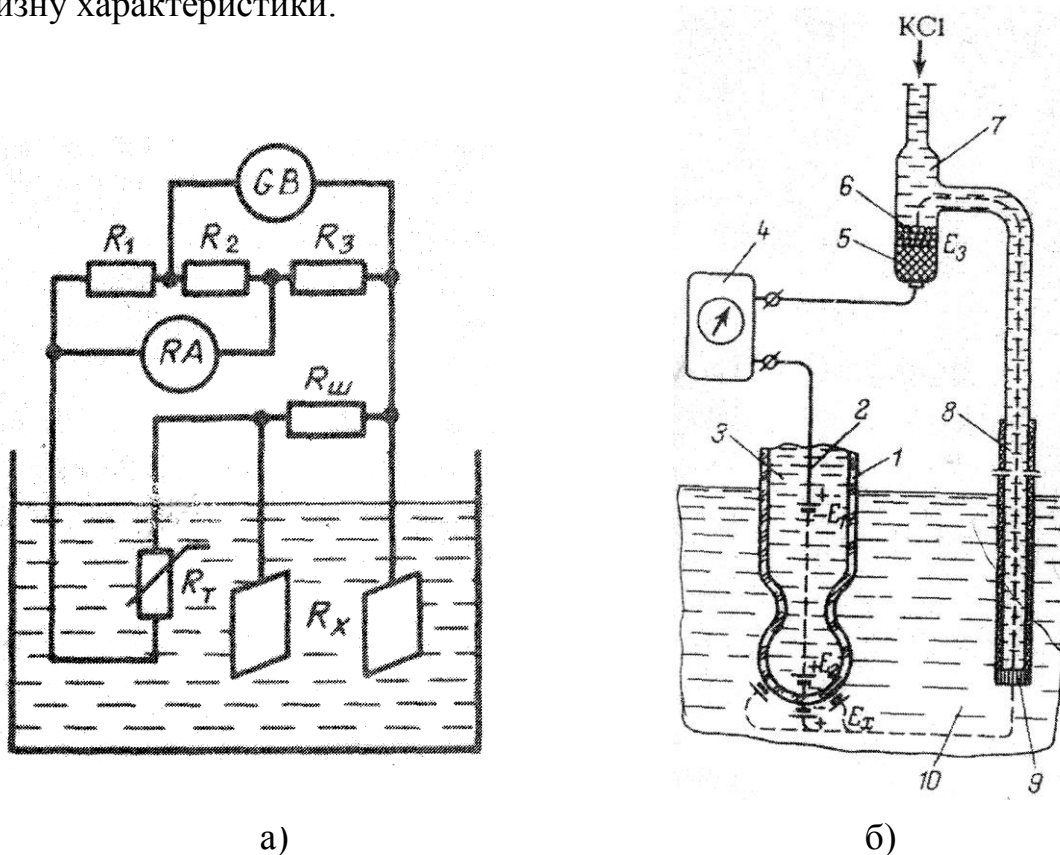


Рис. 41. Электрохимические анализаторы жидкостей:

а – кондуктометрический: R_x – измерительные электроды; R_T – термокомпенсирующий электрод; *б* – потенциометрический (рН-метр): 1 – стеклянный электрод; 2 – контактный хлоросеребряный электрод; 3 – раствор с известным рН; 4 – измерительный прибор; 5 – ртуть; 6 – каломельная паста; 7 – каломельный электрод; 8 – раствор хлорида калия; 9 – полупроницаемая перегородка; 10 – контролируемый раствор

Вспомогательные электроды и заполняющие их растворы выбирают таким образом, чтобы суммарное изменение ЭДС электродной системы с изменением температуры было наименьшим и при некотором значении рН контролируемого раствора равнялось нулю. В этом случае электродная система имеет так называемую изопотенциальную точку и характеристика системы может быть представлена уравнением:

$$E_c = C_1 - S t_p \cdot pH - C_2, \quad (56)$$

где E_c – ЭДС электронной системы, мВ;

$S(t_p)$ – крутизна характеристики электродной системы (мВ/рН), являющаяся функцией температуры раствора t_p ;

C_2 – значение рН раствора, при котором ЭДС электродной системы не зависит от температуры раствора;

C_1 – ЭДС электродной системы при рН раствора, равной C_2 , мВ.

Коэффициенты C_1 и C_2 представляют собой значения координат изопотенциальной точки (рис. 42).

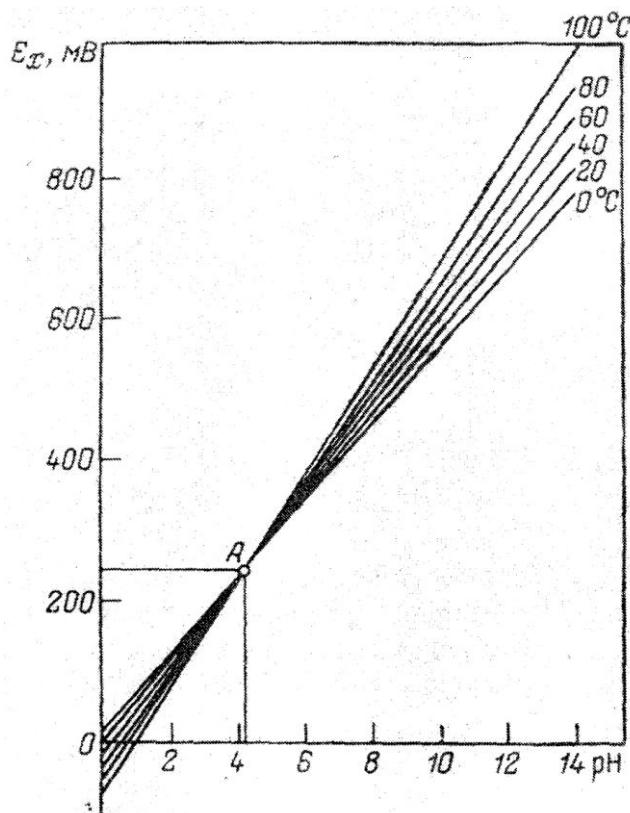


Рис. 42. Зависимость ЭДС элемента от рН контролируемого раствора при различной его температуре: А – изопотенциальная точка

Упрощенная схема измерения ЭДС электродной системы E приведена на рис. 43. Измеряемая ЭДС электродной системы E сравнивается с напряжением противоположного знака $U_{вых}$ на выходе электронного усилителя ЭУ. Последнее образуется падением напряжения на резисторе R при прохождении по нему выходного тока усилителя $I_{вых}$. Следовательно, на вход электронного усилителя ЭУ подается разность $U_{вх} = E - U_{вых}$, откуда $E = U_{вых} + U_{вх}$.

При достаточно большом значении коэффициента усиления ЭУ, равного отношению выходного напряжения усилителя к входному, будем иметь $U_{\text{вых}} \gg U_{\text{вх}}$, поэтому значением $U_{\text{вх}}$ можно пренебречь. Тогда

$$E \approx U_{\text{вх}} = I_{\text{вых}} \cdot R. \quad (57)$$

Таким образом, сила тока, протекающая через резистор R , практически пропорциональна ЭДС, развиваемой электродной системой. Измерив ее величину, можно определить значение E и, следовательно, рН раствора.

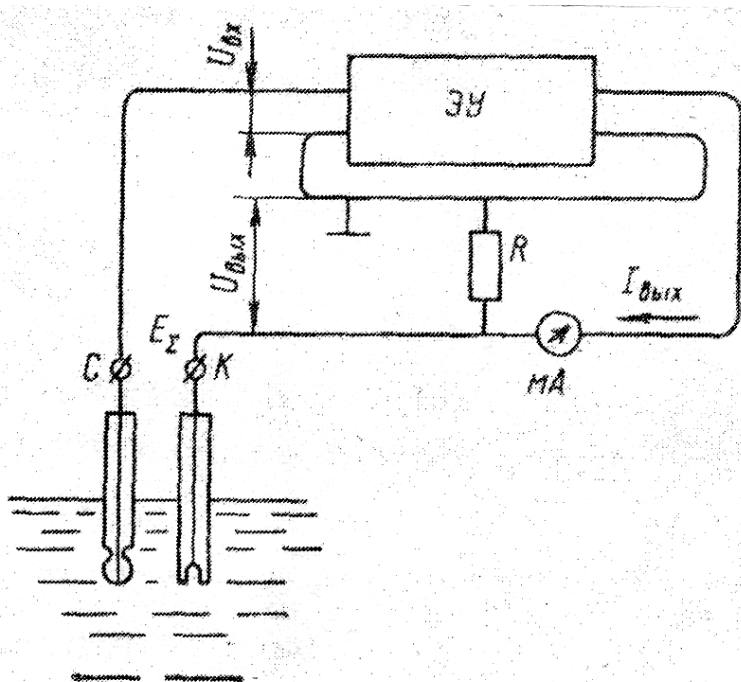


Рис. 43. Схема измерения ЭДС электродной системы

5.3.3 Для определения плотности жидкости широко применяются **поплавковые плотномеры**. Приборы основаны на изменении степени погружения поплавка, являющейся функцией плотности анализируемой жидкости. Согласно закону Архимеда, на поплавок будет действовать выталкивающая сила, равная массе вытесненной им жидкости.

В лабораторной практике широко используются поплавковые приборы, предназначенные для эпизодических измерений, так называемые ареометры.

В производстве применяется большая группа автоматических плотнометров, использующих ареометрический принцип измерения. В поплавковом плотнометре (рис. 44) анализируемая жидкость подводится в измерительную камеру через входной патрубков и отводится через выходной сливной патрубков. Поплавок 1, полностью погруженный в жидкость, с помощью штока 2 соединен с торсионной трубкой (пружиной) 4. Усилие, создаваемое на ней, уравнивает выталкивающую силу поплавка. Торсионная трубка соединена также с сердечником 3 электрического преобразователя, к которому подключается измерительный прибор.

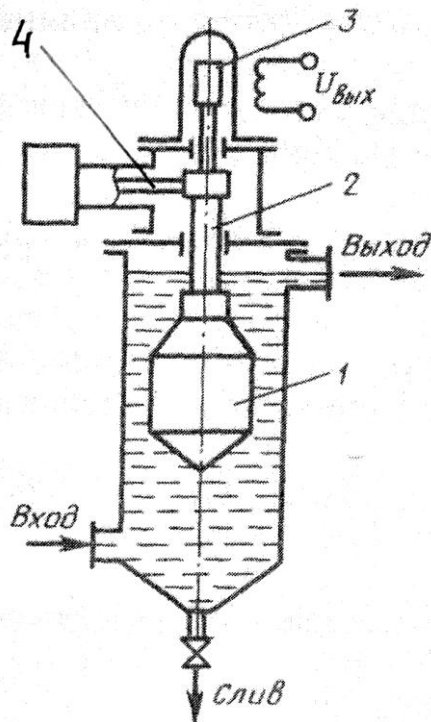


Рис. 44. Схема автоматического поплавкового плотнмера:
 1 – поплавок; 2 – шток; 3 – сердечник электрического преобразователя;
 4 – торсионная трубка

5.4 Задачи

293. При температурах сухого и мокрого термометров $T_c=25\text{ }^\circ\text{C}$ и $T_m=13\text{ }^\circ\text{C}$ давление насыщенного пара 14 и 11 мм рт. ст., атмосферное давление 760 мм рт. ст. Определить расчетное значение относительной влажности и сравнить его с приведенным в приложении 6, если $A_\varphi=6,5\cdot 10^{-4}\text{ }1/^\circ\text{C}$.

294. При температурах сухого и мокрого термометров $T_c=31\text{ }^\circ\text{C}$ и $T_m=26\text{ }^\circ\text{C}$ давление насыщенного пара 0,026 и 0,032 атм. Атмосферное давление 1 атм. Уточнить значение психрометрического коэффициента по приложению 6.

295. Давление насыщенного пара при температуре сухого термометра $T_c=28\text{ }^\circ\text{C}$ равно 10 мм рт. ст., психрометрический коэффициент $6,5\cdot 10^{-4}\text{ }1/^\circ\text{C}$. Найти погрешность определения влажности при температуре мокрого термометра $T_m=18\text{ }^\circ\text{C}$, если давление изменилось от 750 до 780 мм рт. ст.

296. Погрешности измерения термометров в схеме (рис. 38, а) составляют $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. Определить погрешность измерения влажности при действительной температуре сухого термометра $23\text{ }^\circ\text{C}$ и влажного $18\text{ }^\circ\text{C}$.

297. Как обеспечивается постоянное смачивание влагой мокрого термометра? Для чего сухой термометр постоянно обдувается воздухом со скоростью около 5 м/с?

298. На рис. 38, а приведена схема психрометра с уравновешенным мостом. Записать уравнение равновесия моста при $R_2=R_4$ и $R_5=R$ и определить полное сопротивление переменного резистора шкалы R , если максимальная разность сопротивлений сухого и мокрого терморезисторов 10 Ом.

299. В качестве чувствительных элементов психрометра (рис. 38, а) использованы медные терморезисторы градуировки 24. При температуре сухого термометра 25 °С равновесие моста произошло при $R_x=2$ Ом. Найти относительную влажность воздуха.

300. Температуры сухого и мокрого терморезисторов равны 30 и 24 °С. Определить сопротивление R_x при равновесии схемы (рис. 38, а), если использованы полупроводниковые терморезисторы с $B_T=6500$ К и $R_{T_0}=50$ кОм при $T_0=293$ К. Какое положение переменного резистора R_x соответствует началу шкалы?

301. На рис. 45 приведена принципиальная схема психрометра с автоматическим уравновешенным мостом. При изменении напряжения на управляющей обмотке двигателя на 10 В перемещение переменного контакта резистора R_p составляет 10 мм. Каким должен быть коэффициент усиления усилителя, если при максимальной разности температур сухого и мокрого терморезисторов $U_{cd}=0,2$ В, а полная длина шкалы 20 мм?

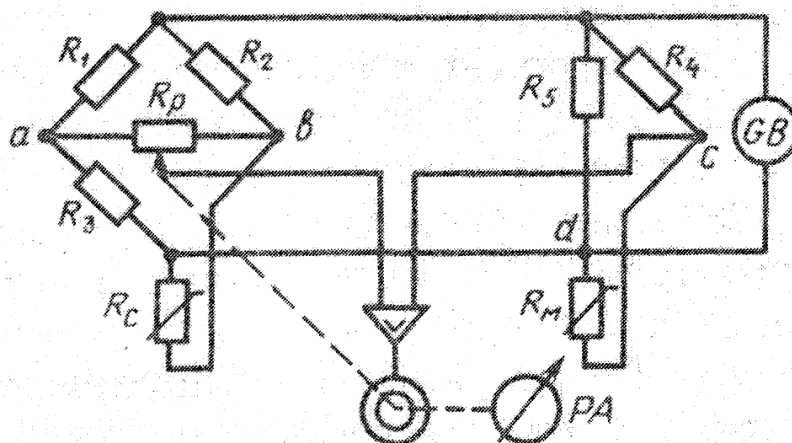


Рис. 45. Схема психрометра с автоматическим уравновешенным мостом (к задаче 301)

302. При измерении относительной влажности с помощью гигрометра температура точки росы равна 5; 10 и 15 °С. Определить значения влажности при температуре воздуха 25 °С.

303. Для измерения температуры зеркальца гигрометра (рис. 38, б) использовалась термопара типа ТПП с термостатированием холодных спаев при 0 °С. Определить относительную влажность воздуха с температурой 20 °С, если напряжение термопары 64 мкВ.

304. Температура зеркальца гигрометра 10 °С измерена с точностью $\pm 0,5$ °С. Определить относительную погрешность измерения относительной влажности воздуха при температуре $T=20$ °С.

305. Площадь зеркальца гигрометра 10^{-4} м^2 . Освещенность при появлении точки росы меняется на 100 лк. Какой должна быть чувствительность фотоприемника в схеме (рис. 38, б), чтобы ток в цепи менялся на 1 мА?

306. При влажности зерна 13% его сопротивление, измеренное влагомером (рис. 39, а), равно 10 кОм. Определить значения сопротивления при влажностях 18,5; 23,5 и 28,5%, если показатель степени $k=0,4$.

307. При влажности зерна 12% сопротивление кондуктометрического влагомера (рис. 39, а) 15 кОм, при влажности 20% – 12 кОм. Определить коэффициенты A_R и k .

308. При градуировке кондуктометрического влагомера с показателем степени $k=0,3$ его сопротивление равно 8 кОм при влажности $\varphi=14\%$. Определить погрешность измерения влажности, если при повышении температуры сопротивление стало 7,5 кОм.

309. При изменении влажности от 12 до 18% диэлектрическая проницаемость изменилась от 4,5 до 15. Определить изменение емкости влагомера (рис. 39, б), если $l=100$ мм, отношение $\frac{D_2}{D_1}=1,5$. Найти емкость незаполненного конденсатора.

310. Диэлектрическая проницаемость муки меняется в соответствии с уравнением $\varepsilon = 5 + \left(\frac{\varphi}{10}\right)^2$ в диапазоне изменения влажности $\varphi=5\dots 15\%$. Найти емкость конденсатора емкостного влагомера при влажностях 10; 12 и 15%. Длина заполняемой части $l=200$ мм, отношение диаметров $\frac{D_2}{D_1}=1,1$.

311. На рис. 46 приведена эквивалентная схема замещения измерительного конденсатора емкостного влагомера. Определить полное сопротивление конденсатора при $C_0=50$ пФ, $R=10$ кОм и изменении C_x от 100 до 500 пФ. Частота напряжения измерительной цепи $f=2$ МГц, изменением активного сопротивления пренебречь.

312. Активное сопротивление зерна в измерительном конденсаторе (рис. 46) равно $R_x=15$ кОм при влажности 12 %, коэффициент $k=0,4$. Емкость конденсатора меняется в соответствии с уравнением $\tilde{N}_\delta = \tilde{N}_{\delta 0} \cdot \left[-0,1 \cdot \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_0} \right]^2$, где $\varphi_0=12\%$ и $C_{x0}=10$ пФ. Определить полное сопротивление конденсатора на частоте $f=8$ МГц при влажности 18 %, если $C_0=50$ пФ.

313. Чувствительная емкость влагомера $S_\varphi = \frac{\Delta R}{\Delta \varphi} = 10 \text{ Ом}/\%$. При градуировке конденсатора (рис. 46) на частоте 5 МГц активное сопротивление $R_x=8$ кОм, емкость $C_x=200$ пФ. Конструктивная емкость $C_0=100$ пФ. Определить погрешность измерения влажности, если при уплотнении сыпучего вещества $R_x=9$ кОм и $C_x=220$ пФ.

314. Выбрать такую частоту переменного напряжения питания измерительного конденсатора с $R_x=50$ кОм и $C_x=100$ пФ, чтобы тангенс угла диэлектрических потерь был меньше 0,01. Пояснить преимущество измерения влажности при небольших значениях $\operatorname{tg} \delta$.

315. Влажность сыпучего тела измеряли в СВЧ-диапазоне на длине волны 10 см (рис. 39, в). Определить коэффициенты абсорбции при уменьшении мощности в 2; 10; 20 раз в образце толщиной 15 см.

316. Выбрать частоту блока излучения СВЧ-влажномера, чтобы затухание мощности в образце толщиной 10 см составляло 20 дБ при коэффициенте абсорбции 0,3. Найти длину волны излучения в данном случае.

317. При увеличении коэффициента затухания в 2 раза мощность в приемных волноводах изменилась от 200 до 100 мВт. Определить мощность в передающем волноводе СВЧ-влажномера (рис. 39, в).

318. При изменении влажности зерна от 12 до 22% коэффициент рассеивания терморезистора теплоэлектрического влагомера увеличился от 10 до 50 мВт/К. Определить изменение температуры терморезистора в режиме постоянной мощности $P=100$ мВт при температуре зерна 20 °С. Найти чувствительность терморезистора.

319. Погружаемый в зерно терморезистор термоэлектрического влагомера нагревается на 10 °С при влажности 12% в течение $t_{nep}=11$ мин, а при влажности 18% – в течение 3 мин. Определить температуру, если ее измеряли через время $t=1$ мин после начала нагревания.

320. Для точного определения влажности сыпучего вещества отобрана навеска 10 г и после полного высушивания измерена ее масса, которая оказалась 7,84 г. Определить влажность вещества.

321. При измерении влажности термогравиметрическим методом взято пять навесок зерна одинаковой массы 10 г из разных мест насыпи. Определить среднее значение влажности зерна и ее разброс, если после высушивания измеренные значения масс навесок равны 8,12; 8,08; 8,16; 8,07 и 8,10 г.

322. Определить, как изменится температура нити газоанализатора (рис. 40, а) при прохождении газа с $\lambda_T=26 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К), если при пропускании через камеру с температурой $T=20$ °С воздуха с теплопроводностью $\lambda_T=28 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К) температура нити была 80 °С. Теплота передается только за счет теплопроводности.

323. В камерах термокондуктометрического газоанализатора (рис. 40, а) диаметром $D=8$ мм используют платиновые резисторы с $R_0=10$ Ом и $\alpha_T=3,9 \cdot 10^{-3}$ 1/°С длиной 20 мм и диаметром $d=0,08$ мм. Мост подключен к источнику стабилизированного тока $I=0,5$ А и отградуирован на чистом азоте с $\lambda_T=27,7 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К). Определить напряжение на измерительной диагонали моста при прохождении через измерительную камеру газов с $\lambda_T=26 \cdot 10^{-3}$; $28 \cdot 10^{-3}$ и $30 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К).

324. При изменении концентрации углекислого газа от 0 до 40 % теплопроводность смеси линейно менялась от $24 \cdot 10^{-3}$ до $32 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К). Мостовая схема газоанализатора (рис. 40, а) сбалансирована при концентрации CO_2 $\gamma=20$ %. Отградуировать шкалу газоанализатора с интервалом концентрации 5% и построить график $U_{\text{вых}}=f(\gamma)$, если $D=6$ мм, $l=30$ мм и $d=0,1$ мм; $R_0=53$ Ом и $\alpha_T=4 \cdot 10^{-3}$ 1/°С. Мост подключен к источнику стабилизированного тока $I=0,1$ А.

325. Определить ток в мостовой схеме газоанализатора (рис. 40, а), отградуированного на воздухе с $\lambda_T=28 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К) и используемого в качестве сигнализатора оксида углерода CO . Теплопроводность газовой смеси при допустимой концентрации CO составляет $20 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К). Диаметр камер $D=10$ мм, в качестве нити выбран терморезистор с $R_0=10$ Ом и $\alpha_T=3,9 \cdot 10^{-3}$ 1/°С, $d=0,1$ мм и $l=25$ мм. Напряжение на диагонали не менее 15 В.

326. На рис. 47 приведена мостовая схема термомагнитного газоанализатора. При пропускании через камеры насыщенного кислородом газа температура терморезистора R_2 равна 200 °С, терморезистора $R_1=150$ °С. Определить положение подвижного контакта резистора R_0 при равновесии моста, если R_1 и R_2 представляют собой платиновые терморезисторы градуировки 22, $R_4=R_3=100$ Ом, $R_0=50$ Ом.

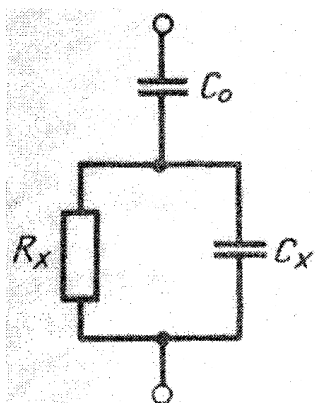


Рис. 46. Эквивалентная схема замещения измерительного конденсатора емкостного влагомера (к задачам 311÷314)

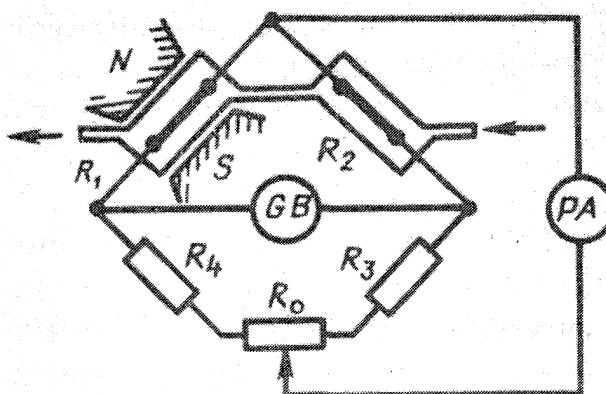


Рис. 47. Мостовая схема термомагнитного газоанализатора (к задаче 326)

327. Концентрацию газа измеряли в оптическом газоанализаторе (рис. 40, б). Определить концентрацию газа в измерительной камере, если интенсивность поглощения в 2; 5; 10 раз выше, чем в эталонной камере. Концентрация в эталонной камере 100 моль, при этом $\frac{P}{P_0}=0,5$, длины обеих камер одинаковы.

328. При градуировке оптического газоанализатора (рис. 40, б) интенсивность выходящего потока из камеры длиной 50 мм с известной концентрацией $\gamma=50$ моль в 5 раз меньше, чем входящего потока. Определить коэффициент поглощения ϵ_λ .

329. Световой поток в оптическом газоанализаторе (рис. 40 б) составляет 10^{-4} лм. Коэффициент поглощения и толщина слоя газа в измерительной и эталонной камерах одинаковы и равны $\varepsilon_\lambda=0,1$ 1/(моль·м) и $d=50$ мм. Концентрация в эталонной камере постоянна $\gamma=200$ моль, а в измерительной меняется от 100 до 500 моль. В качестве фотоэлементов выбраны фоторезисторы с площадью освещения 10^{-6} м² и фоточувствительностью 10 мкА/лк. Найти разностный ток на входе усилителя.

330. Двухэлектродная ячейка кондуктометрического анализатора заполнена раствором с удельной электропроводностью $\sigma_R=1,4$ См/м и сопротивлением $R=15,2$ Ом. Определить постоянную ячейки.

331. Постоянная ячейки кондуктометрического анализатора (рис. 41, а) $K_{ия}=14,5$ м⁻¹. Удельная проводимость раствора пропорциональна концентрации и меняется от $2 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-3} См/м при изменении концентрации от 100 до 200 мг/л. Определить изменение сопротивления измерительной ячейки. Найти концентрацию раствора при сопротивлении $R=30$ кОм.

332. Постоянная ячейки кондуктометрического анализатора $K_{ия}=16$ м⁻¹, удельная проводимость раствора меняется от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-3}$ См/м. Определить изменение эквивалентного сопротивления в схеме (рис. 41, а), если $R_T=100$ Ом, $R_{III}=33$ кОм.

333. В схеме соединения измерительной ячейки анализатора (рис. 41, а) сопротивление раствора при температуре 20 °С равно 11 кОм, а при повышении температуры до 40 °С уменьшилось на 1 кОм. В качестве термокомпенсирующего резистора R_T выбран медный терморезистор градуировки 24, в качестве шунтирующего резистора – манганиновый с $R_{III}=2$ кОм. Оценить изменение сопротивления ячейки при отсутствии резисторов R_T и R_{III} ; при отсутствии резистора R_T ; при наличии всех резисторов.

334. При изменении температуры раствора ячейки кондуктометрического анализатора на 30 °С его сопротивление уменьшилось от 10 до 9,5 кОм. В качестве термокомпенсирующего резистора используют медный терморезистор градуировки 24. Выбрать такое сопротивление R_{III} , чтобы обеспечить полную термокомпенсацию измерительной ячейки.

335. На рис. 48 приведена принципиальная электрическая схема четырехэлектродной измерительной ячейки. Рассказать об ее отличиях и преимуществах по сравнению с двухэлектродной.

336. Определить значения рН раствора при ЭДС измерительного электрода рН-метра (рис. 41, б) 265; 243; 231 мВ, если температура раствора 293 К, а ЭДС в нейтральной среде 211 мВ.

337. При градуировке рН-метра (рис. 41, б) найдены координаты изопотенциальной точки $pH_n=4,5$ и $E_n=213$ мВ. Определить значения ЭДС измерительного электрода при $pH=2,3$; 5,5 и 9,2, если температура раствора 20 °С.

338. Координаты изопотенциальной точки $E_n=221$ мВ и $pH_n=4,8$, действительное значение $pH=9,2$ при температуре 20 °С. Найти погрешность измерения рН-метра при температуре 40 °С и отсутствии температурной компенсации.

339. Внутреннее сопротивление измерительного электрода $R_u=20$ МОм, электрода сравнения $R_c=100$ кОм. Для измерения ЭДС используют милливольтметр со шкалой 0,5 В и входным сопротивлением $R_{вх}=50$ кОм. Определить показания прибора в рН-метре при ЭДС 500 мВ.

340. Электроды рН-метра подключены к усилителю с большим коэффициентом усиления (рис. 43). Координаты изопотенциальной точки $pH_n=4$ и $E_n=210$ мВ, температура раствора 40 °С. Определить показания миллиамперметра при $pH=1; 5; 9$, если $R=100$ Ом.

341. На рис. 49 приведена схема рН-метра с температурной компенсацией. Пояснить назначение ЭДС E_1 в схеме. Каким должен быть температурный коэффициент терморезистора R_T , чтобы обеспечить полную термокомпенсацию схемы? Определить его значение при $pH=4$, $pH=9$ и токе 10 мА.

342. На рис. 44 приведена схема измерения концентрации раствора по его плотности с помощью гидростатического прибора с поплавком – ареометра. Определить перемещение поплавка при изменении плотности раствора от 850 до 920 кг/м³, если диаметр цилиндрического поплавка 100 мм, а первоначальная глубина погружения 0,5 м.

343. При изменении концентрации раствора от 50 до 90% плотность жидкости уменьшилась от 950 до 850 кг/м³. Определить цену деления шкалы ареометра длиной 20 мм, если на ней нанесено 20 делений.

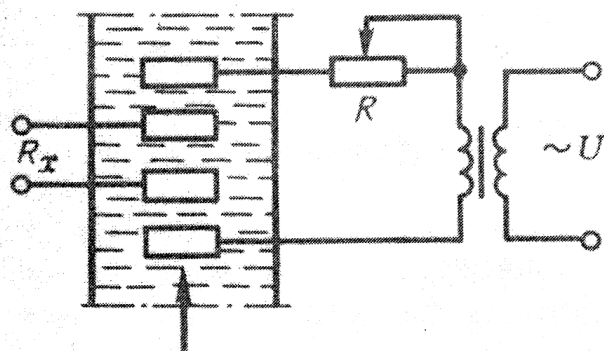


Рис. 48. Схема четырехпроводной измерительной ячейки кондуктометрического анализатора (к задаче 335)

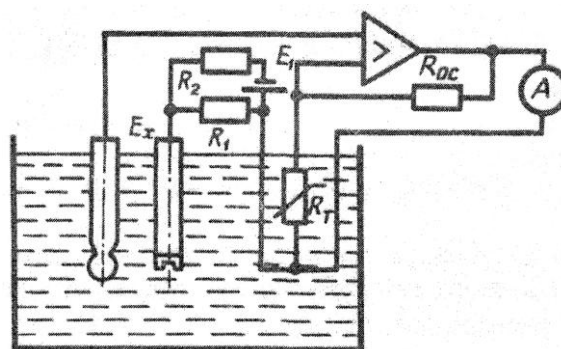


Рис. 49. Схема рН-метра с температурной компенсацией (к задаче 341)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благовещенская М.М. Автоматика и автоматизации пищевых производств / М.М. Благовещенская и др. / М.: Агропромиздат, 1991. 239 с.
2. Емельянов А.И. Практические расчеты в автоматике / А.И. Емельянов / М.: Машиностроение, 1967. 316 с.
3. Лапшенков Г.И. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. Технические средства и лабораторные работы / Г.И. Лапшенков, Л.М. Полоцкий / Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. 288 с.
4. Курочкин А.А. Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств / А.А. Курочкин и др. / М.: Колос, 2007. 591 с.
5. Олейник В.Н. Приборы и методы температурных измерений / В.Н. Олейник / М.: Изд-во стандартов, 1987. 296 с.
6. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы / В.П. Преображенский / 3-е изд., перераб. М.: Энергия, 1978. 704 с.
7. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник / В.Я. Баранов и др. / Л.: Машиностроение, 1987. 847 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Градуировочные таблицы некоторых промышленных термопар
при температуре "холодных" спаев 0 °С

Температура Т, °С	Градуировка					
	ТПП		ТХА		ТХК	
	Термо- ЭДС, мВ	к - попра- вочный коэффициент	Термо- ЭДС, мВ	к - поправоч- ный коэффициент	Термо- ЭДС, мВ	к - поправоч- ный коэффициент
0	0		0		0	
		1,0		1,0		1,0
100	0,64		4,10		6,95	
		0,82		1,0		0,9
200	1,421		8,13		14,66	
		0,72		1,0		0,83
300	2,311		12,21		22,91	
		0,69		0,98		0,81
400	3,244		16,40		31,49	
		0,66		0,98		0,83
500	4,211		20,65		40,16	
		0,63		1,0		0,79
600	5,214		24,91		49,02	
		0,62		0,96		0,78
700	6,251		29,15		57,77	
		0,60		1,0		0,80
800	7,323		33,32		66,42	
		0,59		1,0		0,80
900	8,429		37,37		-	
		0,56		1,0		-
1000	9,569		41,32		-	
		0,55		1,07		-
1100	10,745		45,16		-	
		0,53		1,11		-
1200	11,954		48,87		-	
		0,51		1,16		-
1300	13,158		52,43		-	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Градуировочные таблицы проволочных резисторов

Температура, Т, °С	Платиновые			Медные	
	гр. 20	гр. 21	гр. 22	гр. 23	гр. 24
	Сопротивление, Ом				
Минус 50	8,00	36,80	80,00	41,71	78,70
Минус 40	8,40	38,65	84,03	43,97	82,96
Минус 30	8,80	40,50	88,04	46,23	87,22
Минус 20	9,20	42,34	92,04	48,48	91,48
Минус 10	9,60	44,17	96,03	50,74	95,74
0	10,00	46,00	100,00	53,00	100,00
10	10,40	47,82	103,96	55,26	104,26
20	10,79	49,64	107,91	57,52	108,52
30	11,18	51,45	111,85	59,77	112,78
40	11,58	53,26	115,78	62,03	117,04
50	11,97	55,06	119,70	64,99	121,30
60	12,36	56,86	123,60	66,55	125,56
70	12,75	58,65	127,49	68,81	129,82
80	13,14	60,43	131,37	71,06	134,08
90	13,52	62,21	135,24	73,32	138,34
100	13,91	63,99	139,10	75,58	142,60
110	14,29	65,76	142,95	77,84	146,86
120	14,68	67,52	146,78	80,09	151,12
130	15,06	69,28	150,60	82,35	155,38
140	14,44	71,03	154,41	84,61	159,64
150	15,82	72,78	158,21	86,87	163,90
160	16,20	74,52	162,00	89,13	168,16
170	16,58	76,26	165,78	91,38	172,42
180	16,95	77,99	169,54	93,64	176,68
190	17,33	79,71	173,29	-	-
200	17,70	81,43	177,03	-	-

Вольт-амперные характеристики поликристаллических терморезисторов

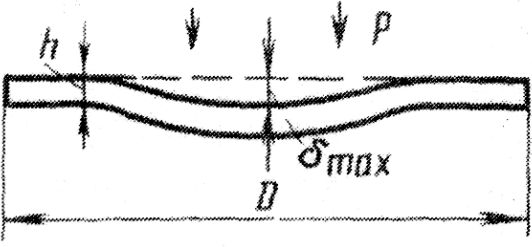
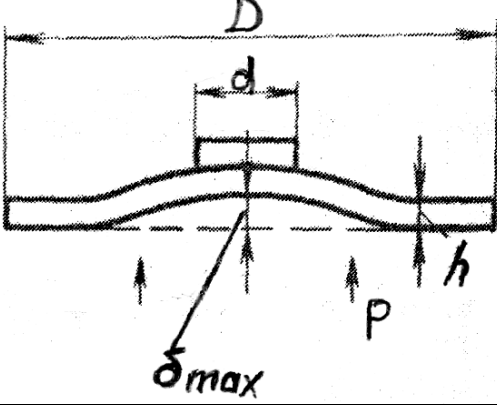
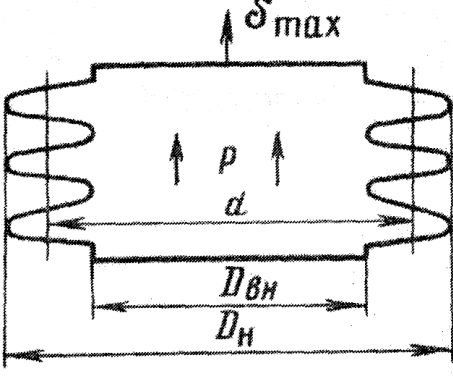
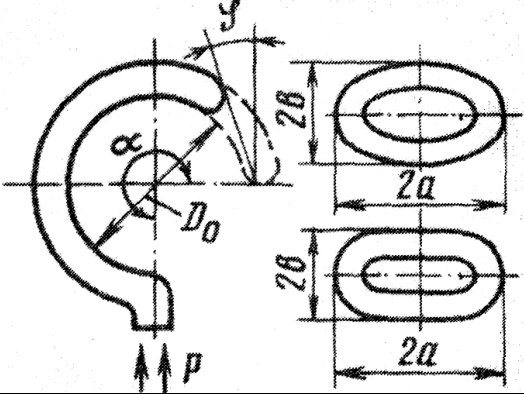
$$y = \frac{U}{U_M} \text{ и } x = \frac{I}{I_M}$$

<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
0,0	0,000	2,5	0,884	5,0	0,713	7,5	0,612
0,1	0,298	2,6	0,876	5,1	0,708	7,6	0,609
0,2	0,524	2,7	0,867	5,2	0,703	7,7	0,606
0,3	0,696	2,8	0,858	5,3	0,698	7,8	0,603
0,4	0,812	2,9	0,850	5,4	0,694	7,9	0,600
0,5	0,898	3,0	0,842	5,5	0,689	8,0	0,597
0,6	0,998	3,1	0,834	5,6	0,684	8,1	0,594
0,7	0,968	3,2	0,826	5,7	0,680	8,2	0,591
0,8	0,987	3,3	0,819	5,8	0,676	8,3	0,588
0,9	0,996	3,4	0,811	5,9	0,671	8,4	0,585
1,0	1,000	3,5	0,804	6,0	0,667	8,5	0,582
1,1	0,999	3,6	0,797	6,1	0,663	8,6	0,580
1,2	0,996	3,7	0,790	6,2	0,659	8,7	0,577
1,3	0,991	3,8	0,783	6,3	0,655	8,8	0,574
1,4	0,984	3,9	0,777	6,4	0,651	8,9	0,572
1,5	0,976	4,0	0,770	6,5	0,647	9,0	0,569
1,6	0,968	4,1	0,764	6,6	0,643	9,1	0,567
1,7	0,959	4,2	0,758	6,7	0,640	9,2	0,564
1,8	0,950	4,3	0,752	6,8	0,636	9,3	0,562
1,9	0,940	4,4	0,746	6,9	0,639	9,4	0,559
2,0	0,931	4,5	0,740	7,0	0,629	9,5	0,557
2,1	0,921	4,6	0,735	7,1	0,625	9,6	0,554
2,2	0,912	4,7	0,729	7,2	0,622	9,7	0,552
2,3	0,903	4,8	0,724	7,3	0,619	9,8	0,550
2,4	0,893	4,9	0,718	7,4	0,615	9,9	0,547

Коэффициенты расхода для сужающих устройств

m^2_{ρ}	m_{ρ}	Значение коэффициента для			
		диафрагмы		сопла	
		вода	воздух	вода	воздух
0,0025	0,050	0,600	0,598	0,989	0,987
0,0050	0,070	0,603	0,599	0,995	0,991
0,0100	0,100	0,607	0,602	1,001	0,995
0,0300	0,173	0,620	0,610	1,007	0,999
0,0500	0,224	0,632	0,618	1,013	1,003
0,0700	0,264	0,643	0,625	1,019	1,007
0,0900	0,300	0,654	0,632	1,025	1,011
0,1100	0,332	0,664	0,640	1,031	1,015
0,1300	0,360	0,674	0,647	1,037	1,019
0,1500	0,387	0,685	0,654	1,044	1,023
0,1700	0,412	0,695	0,662	1,051	1,027
0,1900	0,436	0,705	0,669	1,057	1,031
0,2100	0,458	0,716	0,677	1,063	1,035
0,2300	0,479	0,726	0,684	1,071	1,039
0,2500	0,500	0,737	0,692	1,077	1,043
0,2700	0,520	0,747	0,700	1,083	1,047
0,2900	0,538	0,758	0,708	1,089	1,051
0,3100	0,557	0,769	0,716	1,095	1,055
0,3300	0,574	0,781	0,725	1,101	1,059
0,3500	0,592	0,793	0,734	1,107	1,061
0,3600	0,600	0,798	0,738	1,113	1,067

Расчетные соотношения для деформационных упругих элементов

Наименование и конструкция	Расчетные формулы
<p>Тонкая мембрана</p> 	$\delta_{\max} = 0,17 \cdot \frac{p \cdot D^4}{16 \cdot E_G \cdot h^3}$ $\delta_{\max} = 0,75 \cdot \frac{p \cdot D^2}{4 \cdot h^2}$
<p>Плоская мембрана с центральным диском</p> 	$\delta_{\max} = \frac{p \cdot D^2}{16 \cdot h \cdot \sigma_0} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]$ <p>σ – начальное напряжение ($\leq 0,1 \cdot \sigma_{\text{дон}}$)</p>
<p>Сильфон</p> 	$\delta_{\max} = h \cdot A \cdot \frac{p \cdot d^4}{8 \cdot E_G \cdot h^3}$ $d = \frac{D_H + D_{BH}}{2}$ <p>$A = 0,01 \dots 0,04$ при $\frac{D_H}{D_{BH}} = 1,5 \dots 2,0$</p>
<p>Одновитковая трубчатая пружина</p> 	$\Delta\alpha = \alpha_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right] \cdot \frac{3 \cdot p \cdot D_0^2}{E_G \cdot b^2}$ $\text{tg } \varphi = \frac{1 - \cos \Delta\alpha}{\Delta\alpha - \sin \Delta\alpha}$

Примечание. F_G – модуль упругости; $\sigma_{\text{дон}}$ – допустимое нормальное напряжение

Психрометрическая таблица

$T_{\text{сух.}}, ^\circ\text{C}$	<i>Разность показаний сухого и мокрого термометров, $^\circ\text{C}$</i>									
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
	<i>Относительная влажность воздуха, %</i>									
0	81	64	50	36	26	16	7	-	-	-
1	82	66	52	39	29	19	11	-	-	-
2	83	67	64	42	31	23	14	-	-	-
3	83	69	56	44	34	36	17	10	-	-
4	84	70	57	46	36	28	20	14	-	-
5	85	71	59	48	39	30	23	17	10	-
6	85	72	61	50	41	33	26	19	13	-
7	86	73	62	52	43	35	28	22	15	11
8	86	74	63	54	45	37	30	25	18	14
9	86	75	65	55	47	39	32	27	21	17
10	87	76	66	57	48	41	34	28	23	19
11	88	77	67	58	50	43	36	30	25	20
12	88	78	68	59	52	44	38	32	27	22
13	88	78	69	61	53	46	40	34	29	24
14	89	79	70	62	54	47	41	36	31	26
15	89	80	71	63	55	49	43	37	33	28
16	90	80	72	64	57	50	44	39	34	30
17	90	81	73	65	58	52	46	40	36	31
18	90	81	74	66	59	53	47	42	37	33
19	91	82	74	66	60	54	48	43	39	34
20	91	82	75	67	61	55	49	44	40	36
21	91	83	75	68	62	56	51	46	41	37
22	91	83	76	69	63	57	52	47	42	38
23	91	83	76	69	63	58	53	48	46	39
24	92	84	77	70	64	59	53	49	44	40
25	92	84	77	70	65	59	54	50	45	42
26	92	85	78	71	65	60	55	51	46	43
27	92	85	78	72	66	61	56	51	47	43
28	92	85	79	72	67	61	57	52	48	45
29	92	85	79	73	67	62	57	53	49	46
30	93	86	79	73	68	63	58	55	51	47
31	93	85	80	74	69	64	59	55	51	48
32	93	87	80	75	70	65	60	56	53	48
33	93	86	80	75	70	66	61	57	53	49
34	93	86	81	76	71	66	62	57	54	50
35	93	87	81	76	71	67	62	58	55	51
36	93	87	82	77	72	67	63	59	55	51
37	93	87	82	77	72	68	63	59	55	52
38	94	88	82	77	73	68	64	59	56	52
39	94	88	82	77	73	69	64	59	56	53
40	94	88	82	78	73	68	64	60	57	54
41	94	88	83	78	73	68	65	61	58	54
42	94	88	83	78	73	69	65	61	58	55
43	94	88	83	78	73	69	65	62	58	55
44	94	89	83	78	74	70	66	63	59	55
45	94	88	84	78	75	70	66	63	59	56

Основные сведения о метрологических характеристиках
средств измерений

1. Абсолютная погрешность Δ измерительного прибора определяется разностью между показанием X прибора и действительным значением X_0 измеряемой величины:

$$\Delta = X - X_0. \quad (1)$$

Абсолютная погрешность Δ выражается:

1) одним значением:

$$\Delta = \pm a, \quad (2)$$

где a – постоянное число;

2) в виде зависимости предела допускаемой погрешности от номинального значения, показания или сигнала X , выраженной двухчленной формой:

$$\Delta = \pm (a + b \cdot |X|), \quad (3)$$

где b – постоянное число;

3) в виде таблицы пределов допускаемых погрешностей для разных номинальных значений, показаний или сигналов.

2. Приведенная погрешность определяется формулой:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100, \quad (4)$$

где δ – предел допускаемой приведенной погрешности в процентах нормирующего значения;

X_N – нормирующее значение, выраженное в единицах измеряемой величины;

Δ – абсолютная погрешность.

Нормирующее значение X_N принимается равным:

– для средств измерений с односторонней шкалой – верхнему пределу измерений (X_B);

– для средств измерений с двухсторонней шкалой – арифметической сумме верхнего и нижнего пределов измерений $(|X_B| + |X_H|)$;

– для средств измерений с безнулевой шкалой – разности верхнего и нижнего пределов измерений ($X_B - X_H$), т.е. диапазону измерений.

Предел допускаемой приведенной погрешности δ , выраженный в процентах нормирующего значения X_N , совпадает с числом K , принимаемым для обозначения класса точности средств измерений:

$$\Delta = \pm \frac{K \cdot X_N}{100} = \pm \frac{\delta \cdot X_N}{100} \quad (5)$$

3. При оценке качества мер и измерительных приборов иногда используют *относительные погрешности* Δ_o , выражаемые в долях (или процентах) действительного значения X_o измеряемой величины.

$$\Delta_o = \frac{X - X_o}{X_o} \quad (6)$$

Относительную погрешность можно выразить также в долях (или процентах) номинального значения меры или показания прибора.

$$\Delta'_o = \frac{X - X_o}{X} \quad (7)$$

Выражения (6) и (7) практически равнозначны.

4. Поправка

Под поправкой C понимают значение величины, одноименной с измеряемой, прибавляемое к полученному при измерении значению X_N с целью исключения систематической погрешности:

$$X_o = X_N + C \quad (8)$$

Откуда:

$$C = X_o - X_N, \quad (9)$$

т.е. поправка равна абсолютной погрешности измерительного прибора, взятой с обратным знаком.

5. Статическая характеристика, коэффициент передачи и чувствительность средств измерений

Статической характеристикой средства измерений называют функциональную зависимость между выходной величиной y (перемещением указателя прибора) и входной величиной x в установившемся режиме:

$$y = f(x) \quad (10)$$

Зависимость (10) называют также уравнением шкалы прибора, градуировочной характеристикой прибора или преобразователя.

В общем случае линейная или линеаризованная статическая характеристика средства измерения описывается уравнением вида:

$$y = a + k \cdot x, \quad (11)$$

где a – постоянная передачи, имеющая размерность y ;
 k – коэффициент передачи, имеющий размерность y/x .

В общем случае уравнение шкалы измерительного прибора с линейной связью между входной величиной и показаниями имеет вид:

$$y = y_N + S \cdot (X - X_N), \quad (12)$$

где y_N и X_N – начальные значения выходной и входной величин соответственно.

Чувствительность S прибора определяется по формуле:

$$S = \frac{y_K - y_N}{X_K - X_N} = \frac{y_d}{X_d}, \quad (13)$$

где y_K, X_K – максимальные (конечные) значения выходной и входной величин соответственно;

y_d, X_d – диапазоны изменения выходной и входной величин соответственно.

6. Порог чувствительности измерительного прибора

Под порогом чувствительности понимают наименьшее изменение значения измеряемой (входной) величины, способное вызвать малейшее изменение показания измерительного прибора.

7. Вариация показаний измерительных приборов

Наибольшая разность $\epsilon = |y_i - y_i'|$ между выходными сигналами y_i и y_i' прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой или входной величины X_i , называется вариацией показаний прибора.

Вариацию выражают в процентах нормирующего значения X_N и определяют по формуле:

$$V_o = \frac{\epsilon}{X_N} \cdot 100. \quad (14)$$

Причинами вариации показаний являются люфты, трение в подвижных соединениях деталей и т.д.

Козлов Сергей Николаевич
Дубинина Наталья Викторовна

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ПРИБОРЫ

Методическое пособие по решению задач по курсу
«Механизация и автоматизация производственных процессов»
для студентов специальности 260601.65
«Машины и аппараты пищевых производств»

Редактор Е.Ф. Изотова
Подготовка оригинала-макета О.В. Щекотихина

Подписано к печати 10.08.11. Формат 60x84 /16.
Усл. печ. л. 5,25. Тираж 45 экз. Заказ 11-409. Рег. №96.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/б.