

|                             |                                         |
|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Код, направление подготовки | 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника |
| Направленность (профиль)    | Теплоэнергетика и теплотехника          |
| Форма обучения              | Очная                                   |
| Кафедра-разработчик         | Радиоэлектроники и электроэнергетики    |
| Выпускающая кафедра         | Радиоэлектроники и электроэнергетики    |

Типовые задания для контрольной работы 2 семестр:

Задание выдается преподавателем индивидуально для каждого студента из представленного перечня.

1.1. Температура в термостате измерялась техническим термометром со шкалой 0—500 °С, имеющим пределы допускаемой основной погрешности ± 4 °С. Показания термометра составили 346 °С. Одновременно с техническим термометром в термостат был погружен лабораторный термометр, имеющий свидетельство о поверке. Показания лабораторного термометра составили 352 °С, поправка по свидетельству составляет –1 °С, поправка на выступающий столбик равна + 0,5 °С.

Определите, выходит ли за пределы допускаемой основной погрешности действительное значение погрешности показаний технического термометра.

1.2. Милливольтметр имеет равномерную шкалу, разделенную на 50 интервалов. Нижний предел измерения  $U_i = -10 \text{ В}$ , верхний  $U_{\text{в}} = +10 \text{ В}$ .

Определите цену деления шкалы и чувствительность милливольтметра.

1.3. Зависят ли коэффициенты преобразования медного и платинового термометров сопротивления от температуры, если известно, что сопротивления связаны с температурой выражениями  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$  для медного термометра,  $R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$  для платинового термометра.

1.4. При проверке автоматического потенциометра со шкалой 0 — 500 °С для градуировки типа К (никельхром — никельалюминий, хромель-алюмель) выяснилось, что стрелка и перо прибора смещены относительно нулевой отметки на 10 °С в сторону завышения.

Как должна быть учтена эта систематическая погрешность измерения температуры при обработке диаграммной бумаги, например на отметке 430 °С.

1.5. При испытании измерительной системы дифманометр — вторичный прибор в нормальных условиях эксплуатации устанавливался в конечной точке шкалы при следующих значениях перепада давления  $\Delta p_i$  на входе в дифманометр:

|                    |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $i$                | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| $\Delta p_i$ , кПа | 84,15 | 84,06 | 83,80 | 83,90 | 83,94 | 84,10 | 84,02 | 84,03 |

Затем было изменено напряжение питания измерительной системы на +10 %  $U_{\text{н}}$ . При этом прибор устанавливался в конечной точке шкалы при следующих значениях перепада давления  $\Delta p'_i$  на входе:

|     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|

$\Delta_{p_i}$ , кПа . . . 83,85 83,75 83,82 83,76 83,84 83,82 83,83 83,75

Оцените погрешность показаний измерительной системы, вызванную отклонением напряжения питания. Как называется эта погрешность?

1.6. Определите абсолютное и относительное изменение показаний газового манометрического термометра, вызванное изменением барометрического давления от 100,45 до 96,45 кПа. Шкала прибора 0 — 100 °С, что соответствует изменению давления от 0,67 до 0,92 МПа. Прибор показывает температуру 80 °С. Шкала прибора равномерная.

1.7. Для технического манометра класса 1,5 нормальная температура окружающей среды  $20 \pm 5$  °С, рабочая температура  $+5 \div +50$  °С. Одинаковыми ли погрешностями будут характеризоваться показания прибора при температуре окружающей среды  $t = 24$ ,  $t = 10$  и  $t = 55$  °С при условии, что остальные влияющие величины имеют нормальные значения?

1.8. Одинаков ли предел допускаемой относительной погрешности измерения во всех точках шкалы автоматического потенциометра?

1.9. Было проведено однократное измерение термо-ЭДС автоматическим потенциометром класса 0,5 градуировки ХК со шкалой 200 — 600 °С. Указатель стоит на отметке 550 °С.

Оцените максимальную относительную погрешность измерения термо-ЭДС потенциометром на отметке 550 °С. Зависит ли относительная погрешность от показаний прибора? Условия работы нормальные.

1.10. При градуировке расходомера в конечной точке шкалы объемным методом были получены следующие значения времени наполнения бака  $\tau$ :

|                    |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $i$ . . . . .      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| $\tau_i$ , с . . . | 97,5 | 94,8 | 94,7 | 95,2 | 94,9 | 95,3 | 91,1 | 95,3 |

Предполагается, что эти значения времени распределены по закону Стьюдента. Объем бака  $V = 507 \pm 0,1$  л.

Каким образом оценить значение расхода в конечной точке шкалы расходомера и как определить погрешность этой оценки, если систематическая погрешность измерения времени отсутствует?

1.11. Сопротивление термометра градуировки 10 П измеряется потенциометрическим методом. Оцените погрешность температуры термопреобразователя сопротивления, если известно, что допустимое отклонение от градуировочных значений не должно превышать 0,3 °С. Термопреобразователь П класса, измеряемая температура  $t = 100$  °С.

Сопротивление образцовой катушки составляет  $R_k = 10 \pm 0,01$  Ом. Измерение падения напряжения осуществляется лабораторным потенциометром типа ПП-63 класса 0,05. Допустимое значение его основной погрешности, мВ, не превышает:

$$\Delta e \leq \pm(5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 U_p),$$

где  $U$  — показание потенциометра, мВ;  $U_p$  — цена деления шкалы реохорда, мВ.

Значение тока, протекающего через сопротивление, равно 3 мА.

1.12. Каким образом оценить погрешность измерения температуры, если известно, что для медного термометра сопротивления  $R_0^* = 49,95$  Ом и  $\alpha^* = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Градуировочные таблицы составлены для  $R_0^* = 50$  Ом и  $\alpha^* = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

1.13. При измерении расхода калориметрическим расходомером измерение мощности нагревателя производилось по показаниям амперметра и вольтметра. Оба эти прибора имели класс точности 0,5, работали в нормальных условиях и имели соответственно шкалы 0—5 А и 0—30 В. Номинальные значения силы тока 3,5 А и напряжения 24 В.

Оцените погрешность, с которой производится измерение мощности.

1.14. Сопротивление медного термометра связано с температурой зависимостью:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t).$$

Оцените возможные погрешности измерения температуры термопреобразователем сопротивления III класса градуировки 50 М за счет отклонения  $\Delta R_0$  и  $\Delta \alpha$  при 100 и 150 °С.

1.15. При исследовании теплоотдачи от трубы к воздуху коэффициент теплоотдачи подсчитывался из выражения:

$$\alpha_k = \frac{Q}{F(t_c - t_b)}.$$

Количество теплоты  $Q$ , передаваемой трубкой путем конвекции, определялось по мощности, потребляемой электронагревателем, как произведение сопротивления трубки  $R$  на квадрат силы тока  $I$ . Сила тока измерялась амперметром со шкалой 0—50 А класса 0,1, номинальное значение тока 42 А. Зависимость сопротивления трубки от температуры была найдена в специальных опытах и описывается выражением  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ .

При  $t = 0$  значение сопротивления  $R_0 = 0,5$  Ом,  $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ . Погрешность измерения сопротивления не превышает  $\pm 0,2$  %. Поверхность трубки  $F$  определялась по длине  $l$  рабочего участка и его диаметру  $d$ . Значение длины  $l = 100 \pm 0,5$  мм, диаметра  $d = 10 \pm 0,01$  мм. Температура стенки  $t_c$  измерялась стандартным термоэлектрическим термометром градуировки ХК. Термометр через сосуд свободных концов подсоединяется к лабораторному потенциометру ПП-63 класса 0,05. Номинальное значение температуры стенки 200 °С. Предел допускаемой погрешности, мВ, потенциометра ПП-63 определяется по формуле [8]:

$$\Delta e_n = \pm(5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 U_p),$$

где  $U$  — показания потенциометра, мВ;  $U_p$  — цена деления шкалы, мВ ( $U_p = 0,05$  мВ).

Температура воздуха  $t_b$  измерялась вдали от трубки ртутным термометром повышенной точности со шкалой 100—150 °С и ценой деления 0,2 °С. Номинальное значение температуры воздуха составляет 120 °С.

Оцените погрешность измерения коэффициента теплоотдачи на лабораторной установке и наметьте возможные пути ее уменьшения. Погрешностями, связанными с методами измерения, пренебрегаем.

1.16. В результате проведенных измерений оказалось, что наиболее вероятное содержание кислорода в газовой смеси составляет 11,75%. Доверительный интервал погрешности измерения определялся для доверительной вероятности 0,683 и составил  $\pm 0,5$  %  $O_2$ .

Определите границы доверительного интервала при доверительной вероятности 0,95, если известно, что закон распределения погрешностей нормальный.

1.17. Погрешность измерения давления пара распределена по нормальному закону и состоит из систематической и случайной составляющих. Систематическая погрешность вызвана давлением столба жидкости в импульсной линии и превышает показания на 0,12 МПа. Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей равно  $\pm 0,08$  МПа.

Найдите вероятность того, что отклонение измеренного значения от действительного не превышает по абсолютному значению 0,15 МПа.

1.18. Определите для задачи 1.17 вероятность того, что погрешность не превышает по абсолютному значению 0,15 МПа, полагая, что систематическая составляющая погрешности отсутствует.

1.19. Допустимое отклонение температуры стали на выпуске из печи не должно превышать  $\pm 10$  °С от заданного значения. Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности  $\sigma = 8$  °С. Кроме того, имеет место систематическая погрешность — 6 °С, вызванная сдвигом стрелки прибора в сторону занижения.

Определите вероятность, с которой результат измерения температуры уложится в заданный интервал  $\pm 10$  °С. Случайная погрешность распределена по 2.1. Можно ли ртутным стеклянным термометром измерить температуру 500 °С, если температура кипения ртути 356,6 °С? Каким образом можно повысить верхний предел измерения ртутных термометров?

2.2. Лабораторный стеклянный термометр, заполненный пентаном, показывает по шкале — 40 °С. Термометр погружен в измеряемую среду до отметки —100 °С. Температура выступающего столбика составляет 20 °С. Коэффициент видимого объемного теплового расширения пентана в стекле  $\gamma = 0,0012 \text{ К}^{-1}$ .

Определите действительное значение температуры.

2.3. Совпадают ли значения коэффициентов объемного теплового расширения и видимого объемного теплового расширения термометрического вещества?

2.4. Определите изменение показаний манометрического ртутного термометра, если при градуировке термобаллон и показывающий прибор находились на одном уровне, а в реальных условиях показывающий прибор

расположен на 7,37 м выше, чем термобаллон. Шкала термометра 0 — 500 °С. При изменении температуры от 0 до 500 °С давление в системе изменяется от 4,47 до 14,28 МПа. Плотность ртути  $\rho = 13595 \text{ кг/м}^3$ .

2.5. Определите изменение показаний манометрического газового термометра, вызванное увеличением температуры капилляра на 40 и температуры пружины на 10 °С относительно градуировочного значения 20 °С при следующих условиях: объем капилляра  $V_k = 1,9 \text{ см}^3$ , объем манометрической пружины  $V_{\Pi} = 1,5 \text{ см}^3$ , объем термобаллона  $V_6 = 140 \text{ см}^3$ .

2.6. Оцените изменение показаний манометрического газового термометра за счет изменения температуры внешней среды на 30 °С, если известно соотношение объемов капилляра  $V_k$ , пружины  $V_{\Pi}$  и баллона  $V_6$ .

$$\frac{V_k + V_{\Pi}}{V_6} = 0,01.$$

2.7. Определите, какое начальное давление должно быть создано в системе манометрического газового термометра при 0 °С, чтобы при изменении температуры от 0 до 500 °С давление в системе изменялось на 10 МПа. Термический коэффициент расширения газа  $P = 0,00366 \text{ К}^{-1}$ .

2.8. По условиям задачи 2.9 определите, какое относительное изменение показаний вызовет изменение барометрического давления  $p_6$  на 0,005 МПа на отметках шкалы 0 и 500 °С.

2.9. Будет ли изменяться термо-ЭДС термоэлектрического термометра типа ХК при изменении температуры рабочего конца, но при сохранении разности температур рабочего конца и свободных концов, например  $E(300, 50^\circ\text{С})$  и  $E(600, 350^\circ\text{С})$ ?

2.10. На рисунке 2.1 изображена характеристика термоэлектрического термометра при температуре свободных концов, равной 0 °С.

Как изменится его характеристика, если температура свободных концов увеличится?

2.11. Характеристика термоэлектрического термометра представлена на рис. 2.2 а. Какая зависимость из изображенных на рис. 2.2 б будет характеризовать коэффициент преобразования термометра? Изменится ли его коэффициент преобразования при изменении температуры свободных концов?

2.12. В печь для проверки помещено несколько термоэлектрических термометров, о которых известно, что они стандартные, но их тип неизвестен. Свободные концы термометров помещены, в термостат, температура в котором поддерживается постоянной, но ее значение также неизвестно.

Можно ли определить тип термоэлектрических термометров, если температура в печи известна и может изменяться в интервале от 300 до 600 °С, а термо-ЭДС измеряется лабораторным потенциометром?

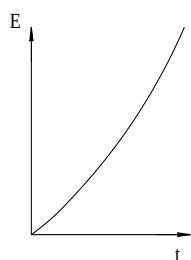


Рис. 2.1

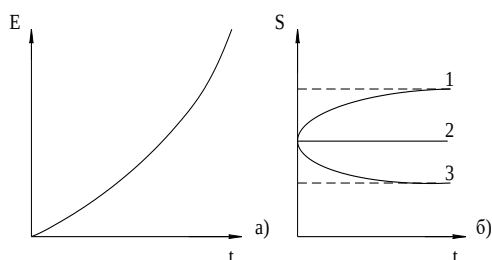


Рис. 2.2

2.13. На рис. 2.3 даны схемы измерения температуры поверхности медной пластины. В случае а электроды термоэлектрического термометра сварены вместе и затем приварены к пластине, в случае б каждый из электродов приваривался к пластине отдельно и между электродами нет непосредственного контакта

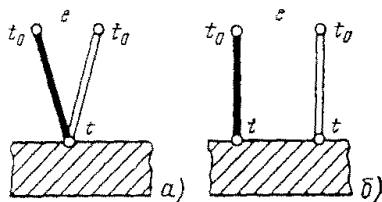


Рис. 2.3

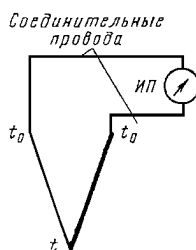


Рис. 2.4

Учитывая большую теплопроводность меди и предполагая плохой теплообмен пластины с окружающей средой, можно считать, что температура медной пластины во всех точках подсоединения к ней термоэлектродов одинакова. Будет ли термо-ЭДС обоих термометров одинакова при одинаковой температуре свободных концов?

2.14. Введите поправку в показания термоэлектрического термометра и определите температуру рабочего конца, если известно, что термо-ЭДС термометра типа S (платинородий—платиновый) равна 3,75 мВ, а температура свободных концов – 32 °С.

2.15. Термоэлектрический термометр типа 3 (платинородий—платиновый) подсоединен к измерительному прибору ИП медными проводами (рис. 2.4). Изменится ли термо-ЭДС, если вместо медных проводов подсоединение будет осуществлено алюминиевыми проводами? Значения температур концов термометра остались прежними.

2.16. Термоэлектрический термометр типа S (платинородий—платиновый) подключен к измерительному прибору медными проводами. Температура рабочего конца – 700, свободных концов – 20 °С.

Изменится ли термо-ЭДС, если температура места подключения медного провода к платинородиевому термоэлектроду увеличилась до 100 °С, а температура места подключения медного провода к платиновому термоэлектроду осталась равной 20 °С. Градуировочная характеристика термоэлектрического термометра типа S приведена в табл. П.12. Термо-ЭДС пары платинородий — медь при температурах спаев 100 и 20 °С  $E(100\text{ °С}, 20\text{ °С}) = -0,077\text{ мВ}$ .

2.17. Подключение термоэлектрического термометра к измерительному прибору осуществляется удлиняющими термоэлектродными проводами (рис. 2.5).

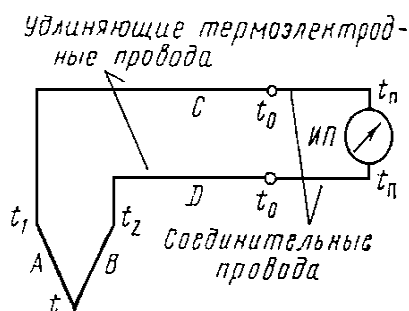


Рис. 2.5

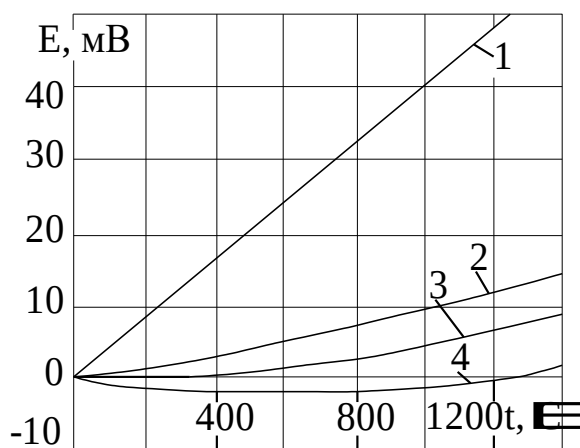


Рис. 2.6

Обязательным ли является требование равенства температур мест соединения  $t_1$  и  $t_2$ ?

2.18. На рис. 2.6 представлены характеристики различных термоэлектрических термометров.

Укажите, какие из них можно подключить к измерительному прибору без удлиняющих термоэлектродных проводов обычными медными и при этом не будет возникать искажение термо-ЭДС.

2.19. Определите температуру рабочего конца термоэлектрического термометра для измерительной цепи, представленной на рисунке 2.5. Известно, что  $t_1 = t_2 = 70\text{ °С}$ ;  $t_0 = 28\text{ °С}$ ;  $t_i = 18\text{ °С}$ .

Термо-ЭДС, измеряемая лабораторным потенциометром, равна  $E = 23,52$  мВ, тип термометра К (никельхром — никельалюминиевый, хромель — алюмелевый).

2.20. Градуировочные таблицы стандартных термоэлектрических термометров, составлены при температуре свободных концов  $0^\circ\text{C}$ . Поэтому в термо-ЭДС, развиваемую термометрами, необходимо вводить поправку на температуру свободных концов, если эта температура не равна  $0^\circ\text{C}$ .

Каковы принципиальные основы введения поправки на температуру свободных концов и какой сигнал должно вырабатывать устройство для автоматического введения поправки?

2.21. В мостовой схеме компенсатора термо-ЭДС с КТ-54 для автоматического введения поправки на температуру свободных концов термоэлектрического термометра (рис. 2.7) имеются резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , выполненные из манганина, и  $R_m$ , выполненный из меди. В мостах, используемых со всеми типами термоэлектрических термометров, эти резисторы имеют одни и те же значения. Одинаково также значение напряжения питания  $U$ .

Одинаково ли значение сопротивления  $R_6$  в мостах, используемых для термоэлектрических термометров типов S (платинородий — платиновый), К (никельхром — никель алюминевый, хромель — алюмелевый) и ХК (хромель — копелевый)?

2.22. Для условия задачи 2.21 предположим, что температура рабочего конца  $t = 400^\circ\text{C}$ , температура точек 1 и 2  $t' = 40^\circ\text{C}$  и температура точек 3 и 4  $t' = 20^\circ\text{C}$  (рис. 2.7).

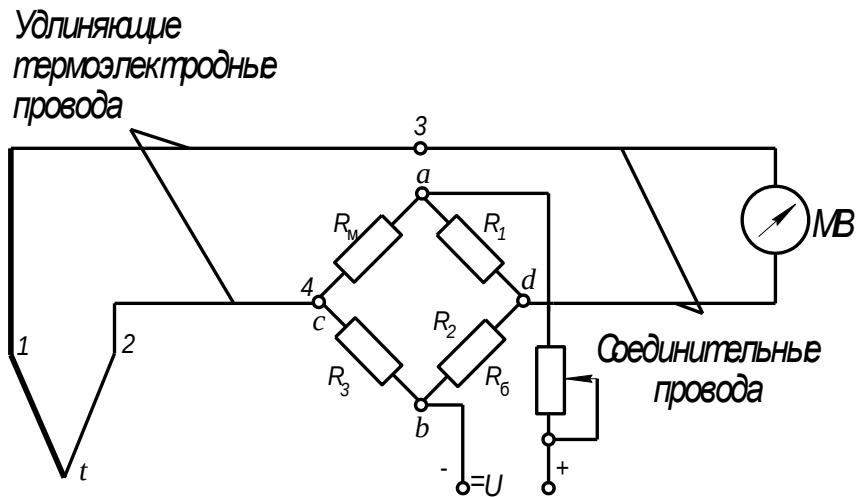


Рис. 2.7

Как изменяется показания милливольтметра, если удлиняющие термоэлектродные провода заменить на медные с тем же суммарным сопротивлением?

Как изменяется показания милливольтметра, если удлиняющие термоэлектродные провода заменить на медные с тем же суммарным сопротивлением? Характеристику термоэлектрического термометра считаем линейной. Входное сопротивление измерительного прибора полагаем бесконечно большим.

2.23. Для условия задачи 2.21 предположим, что температура точек 1—4 всегда одинакова, но может изменяться во времени.

Изменяются ли в этом случае показания прибора, если удлиняющие термоэлектродные провода заменить медными?

2.24. Для условия задачи 2.21 изменяются ли показания милливольтметра, если медные провода, идущие от компенсатора КТ-54 к милливольтметру (рис. 2.7), заменить на алюминиевые с тем же сопротивлением?

2.25. Для условия задачи 2.21 при всех ли температурах свободных концов термоэлектрического термометра в диапазоне допустимого их изменения будет происходить полная компенсация изменения термо-ЭДС?

2.26. Изменится ли чувствительность милливольтметра, если увеличить число витков рамки при неизменной жесткости пружины?

2.27. Полагаем, что в начале и конце шкалы милливольметра рамка находится в магнитном поле с большей индукцией, чем в середине шкалы.

Будет ли чувствительность такого милливольтметра постоянной в пределах шкалы? Будет ли шкала милливольтметра равномерной?

2.28. Оцените значение погрешности измерения температуры пара термоэлектрическим термометром типа К в комплекте с милливольтметром. Милливольтметр находится в помещении блочного щита, температура в котором  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Термоэлектрический термометр подключен к милливольтметру с помощью удлиняющих термоэлектродных проводов. Шкала милливольтметра 200 — 600  $^\circ\text{C}$ , класс 1,0. Показания милливольтметра 540  $^\circ\text{C}$ .

Пределы допускаемых значений погрешностей термометра и удлиняющих термоэлектродных проводов приведены в начале гл. 2 [формула (2.1) и табл. 2.1] и в [27].

2.29. Температура пара измеряется термоэлектрическим термометром типа К, который с помощью удлиняющих термоэлектродных проводов подключен к милливольтметру. Милливольтметр установлен в помещении блочного щита, имеющего температуру 20 °С. Сопротивление милливольтметра – 323, термометра в рабочих условиях – 0,35 Ом. Подгонка сопротивления внешней линии до значения 5 Ом осуществляется при температуре 20 °С. Сопротивление удлиняющих термоэлектродных проводов – 3,47 Ом при общей длине – 150 м (в том числе, 3 м внутри блочного щита).

Оцените относительное изменение показаний милливольтметра, вызванное изменением температуры проводов от 20 до 65 °С. Температурный коэффициент электрического сопротивления провод ( $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ).

2.30. Термоэлектрический термометр типа S (длина термоэлектродов – 2 м, диаметр – 0,5 мм) подключен к пирометрическому милливольтметру, отградуированному на внешнее сопротивление 5 Ом, при глубине погружения термометра 0,5 м в среду с температурой 1000 °С. Остальная часть термометра находилась при температуре 40 °С.

Изменяются ли показания милливольтметра, если глубину погружения увеличить до 1,5 м. Внутреннее сопротивление милливольтметра 195 Ом.

Сопротивление 1 м платинового термоэлектрода при  $R_1 = 0,579$  Ом, при  $1000^\circ\text{C}$   $R_2 = 2,199$  Ом. Соответственно для платинородиевого термоэлектрода  $R'_1 = 1,033 \hat{\Gamma} \hat{\Gamma}$  и  $R'_2 = 2,394 \hat{\Gamma} \hat{\Gamma}$ .

2.31. Определите изменение показаний милливольтметра градуировки К, вызванное изменением температуры помещения, в котором находится милливольтметр, от 20 до 40 °С. Сопротивление внешней цепи – 5 Ом, сопротивление милливольтметра при 20 °С  $R_{\text{мв}} = 302$  Ом, сопротивление рамки, выполненной из меди,  $R_p = 65$  Ом, показания прибора – 540 мВ. Измерительная схема милливольтметра состоит из рамки и последовательно включенного манганинового резистора. Температурный коэффициент электрического сопротивления меди  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ .

2.32. Известно, что температурный коэффициент милливольтметра уменьшается с уменьшением отношения сопротивления рамки к общему сопротивлению милливольтметра. Однако это отношение обычно бывает не менее  $\frac{1}{3}$ .

Почему не рекомендуется выбирать его меньшим при неизменном общем сопротивлении милливольтметра?

2.33. Принципиальная схема лабораторного потенциометра представлена на рисунке 2.8. Известно, что ЭДС насыщенного нормального элемента зависит от температуры, в то время как рабочий ток потенциометра должен быть неизменным.

С? Каким образом это достигается в схеме потенциометра, например, при увеличении температуры от 20 до 50°

2.34. Предположим, что в задаче 2.33 после увеличения температуры окружающей среды до 50 °С вновь была произведена установка рабочего тока, однако движок резистора  $R'_{\text{нб}}$  остался в том же положении, в котором он находился при температуре 20 °С.

Изменятся ли при этом показания потенциометра?

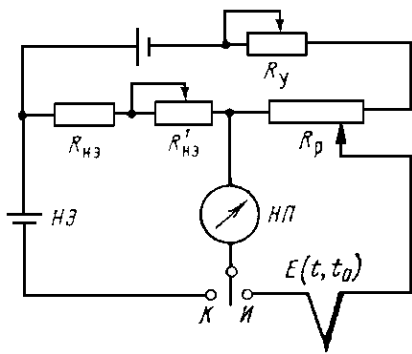


Рис.2.8

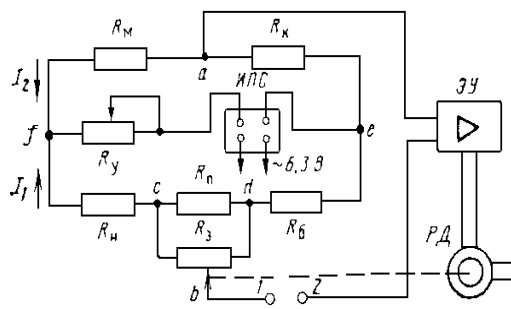


Рис. 2.9

2.35. Влияет ли на погрешность потенциометра класс применяемого нормального элемента?

2.36. Термо-ЭДС термоэлектрического термометра сопротивлением 50 Ом измеряется потенциометром с внутренним сопротивлением 200 Ом.

Останется ли точность измерения прежней, если внутреннее сопротивление потенциометра станет равным 20 кОм при неизменной чувствительности нуль-индикатора по току?

2.37. Нужно измерить ЭДС источника с очень высоким внутренним сопротивлением, например, ЭДС электродной системы рН-метра. Какой потенциометр низкоомный или высокоомный и почему следует использовать для этой цели?

2.38. Измерительная схема автоматического потенциометра типа КСП-4 (рис. 2.9) градуировки ХК со шкалой 0—400 °С характеризуется следующими значениями

сопротивлений токов:  $R_K = 509,5 \text{ Ом}$ ;  $R_6 = 330 \text{ Ом}$ ;  $R_H = 12 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 90 \text{ Ом}$ ;  $I_1 = 3 \text{ мА}$ ;  $I_2 = 2 \text{ мА}$ .

Определите, какая точка реохорда,  $c$  или  $d$ , соответствует верхнему пределу измерения?

2.39. Для условий задачи 2.38 определите, к какому из выводов, 1 или 2, следует подключать плюсовой электрод термоэлектрического термометра?

2.40. Какими будут показания потенциометра со шкалой  $-10 \div +10 \text{ мВ}$  при обратной полярности подключения источника измеряемого напряжения с ЭДС  $-3 \text{ мВ}$ ?  $+5 \text{ мВ}$ ?

2.41. Что будут показывать автоматические потенциометры с диапазонами измерения 0—400 °С градуировки ХК и 0—50 мВ при закорачивании их входных зажимов?

2.42. Для всех потенциометров сопротивление резисторов  $R_K = 509,5 \text{ Ом}$  (рис. 2.9).

Чем обусловлен выбор такого значения сопротивления?

2.43. Имеются два потенциометра градуировок К и ХК со шкалой 0 — 600 °С.

У которого из них резистор  $R_H$  (рис. 2.9) больше? Предполагается, что токи в ветвях схемы у обоих потенциометров одинаковы и соответственно равны  $I_1 = 3 \text{ мА}$  и  $I_2 = 2 \text{ мА}$ . Эквивалентное сопротивление реохордов  $R_3 = 90 \text{ Ом}$ . Нерабочие участки реохорда также одинаковы и равны  $0,032 R_3$ .

2.44. Будут ли одинаковыми значения сопротивления  $R_H$  (рис. 2.9) у потенциометров с диапазонами измерения  $-50 \div +150 \text{ °С}$ ,  $0—200 \text{ °С}$  одной и той же градуировки ХК?

2.45. Напишите уравнение равновесия потенциметрической схемы при значении измеряемой температуры  $t_H$ , равной нижнему пределу измерения, и на его основании определите сопротивление  $R_6$  (рис. 2.9) для потенциометра 0 — 600 °С градуировки ХК. Расчетное значение температуры свободных концов  $t_0 = 20 \text{ °Н}$ .

2.46. Одинаковы ли значения сопротивления медного резистора  $R_M$  у потенциометров КСП-4 с диапазоном измерения  $-50 \div +100 \text{ °С}$  градуировки ХК, 0 — 600 °С градуировки ХК, 0—600 °С градуировки К? Токи схемы для всех потенциометров одинаковы.



2.47. Был произведен расчет схемы потенциометра с диапазоном измерения 0—600 °С градуировки ХК исходя из принятой расчетной температуры свободных концов 20 °С.

Во всех ли точках шкалы будет производиться полная температурная компенсация температуры свободных концов, если она отличается от расчетного значения. Ток  $I_2$  (рис. 2.9) не зависит от температуры свободных концов и равен 2 мА.

2.48. Для рассчитанной измерительной схемы потенциометра 0 ÷ — 60°С градуировки ХК определите температурную погрешность в конце шкалы при  $t'_0 = 50^\circ\text{C}$  и  $t'_0 = 0^\circ\text{C}$ .

2.49. Будет ли зависеть значение температурной погрешности от значения выбранной расчетной температуры свободных концов?

2.50. Медный термометр сопротивления имеет сопротивление при 20 °С  $R_{20} = 1,75$  Ом.

Определите его сопротивление при 100 и 150 °С. Температурный коэффициент  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

2.51. Определите сопротивление платинового термометра, изготовленного из платины марки Пл-2, при температуре — 200°С и 200 °С. Сопротивление термометра при 0 °С составляет 7,45 Ом.

2.52. Какими параметрами могут различаться термометры сопротивления различных классов, изготовленные из одного материала.

2.53. Определите предел допускаемой относительной погрешности термометра сопротивления I класса при измерении температуры 300 °С.

2.54. Одинаковы ли значения коэффициентов преобразования у медных термометров сопротивления градуировок 50 М и 100 М в интервале 0 — 150 °С?

2.55. Определите среднее значение коэффициента преобразования для платиновых термометров градуировки 10 П и 100 П в интервалах 400 — 500, 300 — 400 °С и сопоставьте результаты.

2.56. Оцените значение дополнительной погрешности, возникающей за счет самонагрева чувствительного элемента термометра сопротивления, выполненного в виде платиновой нити диаметром 0,05 и длиной 10 мм, измеряющего температуру воздушного потока. Коэффициент теплоотдачи от нити к воздуху  $\alpha_k = 400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , ток, протекающий по нити,  $I = 100$  мА сопротивление термометра при рабочей температуре  $R_t = 0,54$  Ом.

2.57. Какой из термометров сопротивления — градуировки: 100 П, 100 М или полупроводниковый с параметрами  $R_0 = 10,6 \text{ Ом}$ ,  $B = 2500 \text{ К}$  — имеет наибольший коэффициент преобразования при температуре 60 °С?

2.59. Оцените дополнительную абсолютную погрешность измерения температуры термометром сопротивления градуировки 50 М, включенным по двухпроводной схеме, если значение сопротивления соединительных проводов равно 4,5 вместо градуировочного значения 5 Ом.

Как изменится эта погрешность, если действительное сопротивление соединительных проводов будет 0,1, а градуировочное значение — 0,6 Ом?

2.60. Для условия задачи 2.59 определите, будет ли дополнительная погрешность, вызванная изменением сопротивления линии, зависеть от градуировки термометра?

2.61. Каким образом оценить дополнительную погрешность измерения температуры медным термометром сопротивления, вызванную отклонением действительных значений  $R'_0$  и  $\alpha'$  от номинальных.

Действительные значения:  $R'_0 = 49,90$  Ом,  $\alpha' = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Номинальные значения:  $R_0 = 50$  Ом;  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Текущее значение сопротивления термометра  $R_t = 75,58$  Ом.

2.62. Сопротивление термометра градуировки 10 П измеряется потенциометрическим методом.

Оцените погрешность измерения температуры  $t = 100^\circ\text{C}$ , если известно, что допустимое отклонение от градуировки для термометров класса III определяется значением (табл. П.16):

$$\Delta t \leq 0,2^\circ\text{C}.$$

Текущее сопротивление термометра  $R_t = 13,9113 \text{ Ом}$ . Сопротивление образцово́й катушки  $10 \pm 0,01 \text{ Ом}$ . Измерение падения напряжения осуществляется лабораторным потенциометром типа ПП-63 класса 0,05, предел допускаемой основной погрешности которого, мВ, равен

$$\Delta e = \pm(5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 U_p),$$

где  $U$  — показание потенциометра мВ;  $U_p$  — цена деления шкалы реохорда, мВ. Ток, протекающий через сопротивление, равен 3 мА.

2.63. Равномерна ли шкала неуравновешенного моста (рис. 2.10) при условии, что сопротивление источников питания равно нулю, а входное сопротивление измерительного прибора ИП бесконечно большое.  $R_t$  — термометр сопротивления градуировки 50 М.

2.64. Одинаков ли коэффициент преобразования  $S = dU_{\text{вых}} / dR_t$  для трех мостовых схем, изображенных на рис. 2.11, если внутреннее сопротивление источника равно нулю и  $R_t = R_2 = R_3 = R$ .

2.65. Сопротивление термометра измеряется уравновешенным мостом по схеме, изображенной на рис. 2.12.

Термометр сопротивления градуировки 50 П, измеряемая температура – 200, шкала моста 0 — 300 °С.

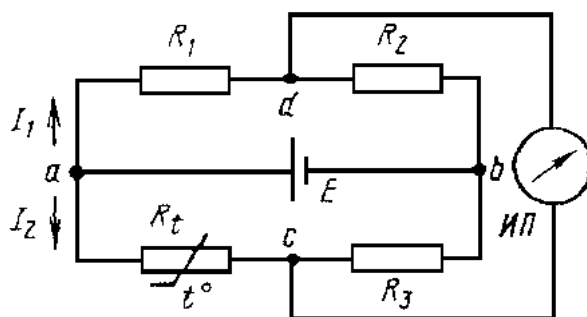


Рис. 2.10

Определите изменение показаний прибора, возникающее за счет увеличения сопротивления переходного контакта реохорда  $R_3$  на 0,2 Ом при условии, что  $R_1 = R_2$ , а  $R_t = R_{\text{ин}}$ .

2.66. Зависит ли изменение показаний моста для условия 2.65 от соотношения  $R_2 / R_1$ , (например,  $R_2 / R_1 = 0,1$  и  $R_2 / R_1 = 10$ )?

2.67. Какое положение движка реохорда (в точке  $a$  или в точке  $b$ ) соответствует нижнему пределу измерения уравновешенного моста градуировки 50 М в схемах рис. 2.13  $a$  и  $b$ ?

2.68. Выведите уравнение градуировочной характеристики для измерительных уравновешенных мостов, представленных на рис. 2.13.

2.69. Оцените изменение показаний уравновешенного моста (рис. 2.13,  $a$ ), вызванное изменением переходного сопротивления движка реохорда на 0,2 Ом. Шкала моста 0—150°С, градуировка 50 М  $R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$ .

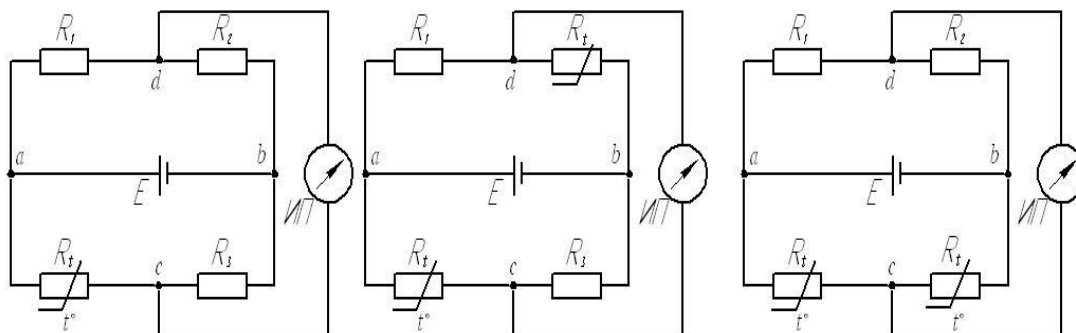


Рис 2.11

2.70. Термометр сопротивления  $R_t$  подключается к уравновешенному мосту (рис. 2.14) с помощью соединительных проводов. Сопротивление  $R_l$  каждого из этих соединительных проводов при градуировке было равно 2,5 Ом.

Оцените изменение показаний моста, вызванное увеличением сопротивления каждого из соединительных проводов на 0,5 Ом, при двухпроводной схеме подключения термометра. Сопротивления резисторов схемы имеют следующие значения:  $R_1 = 80$  Ом;  $R_2 = 80$  Ом;  $R_3 = 40$  Ом;  $R_p = 40$  Ом;  $R_t = 15$  Ом.

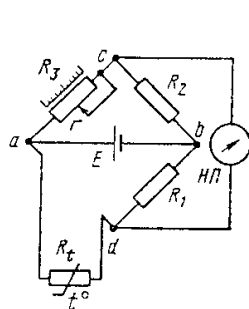


Рис. 2.12

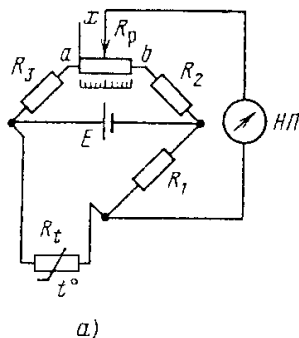
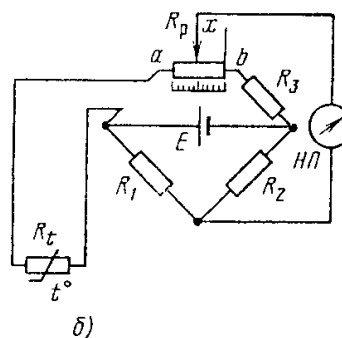


Рис. 2.13



2.71. Останется ли прежним изменение показаний моста (см. задачу 2.70), если термометр сопротивления подключить по трехпроводной схеме?

2.72. Будет ли зависеть изменение показаний уравновешенного моста, вызванное изменением сопротивления соединительных проводов, подключающих термометр по трехпроводной схеме, от соотношения сопротивлений резисторов схемы? Для схемы (рис. 2.14) принимаются следующие сопротивления резисторов, Ом:  $R_1 = 35$ ;  $R_2 = 60$ ;  $R_3 = 50$ ;  $R_p = 30$ ;  $R_t = 15$ ;  $R_l = 2,5$ ;  $\Delta R_l = 0,5$ .

2.73. Рассчитайте сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_p$  уравновешенного моста, предназначенного для работы с медным термометром сопротивления типа ТСМ градуировки 50 М со шкалой 0—150 °С (рис. 2.15). Для расчета примите следующие сопротивления:  $R_p = 90$  Ом;  $R_0 = 5$  Ом;  $R_l = 2,5$  Ом;  $R_2 = R_3 = 200$  Ом. Нерабочие участки реохорда не учитывать

2.74. При всех ли измеряемых температурах будет отсутствовать влияние изменения сопротивления линии на показания моста при условии, что сопротивления  $R_2$  и  $R_3$  одинаковы?

2.75. Оцените изменение показаний моста (задача 2.73), вызванное увеличением сопротивления каждого соединительного провода на 0,1 Ом при измеряемой температуре  $t = 120$  °С, градуировка термометра – 50 М.

2.76. Токи в рамках 1 и 2 логометра (рис. 2.16) имеют указанное на схеме направление. Индукция поля в центре слабее, чем у краев зазора.

Определите, будет ли при таком направлении токов логометр работоспособным.

2.77. Условиями эксплуатации логометров допускается изменение напряжения питания  $\pm 20$  % номинального (4 В), так как при этом точность существенно не ухудшается.

Почему изменение напряжения питания мало сказывается на показаниях логометра?

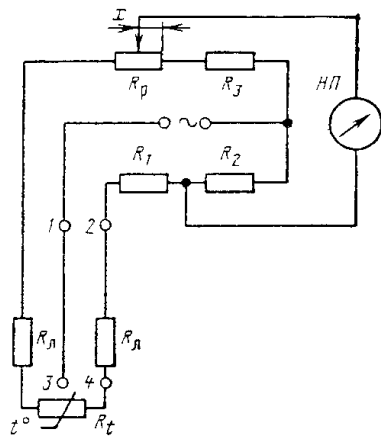


Рис. 2.14

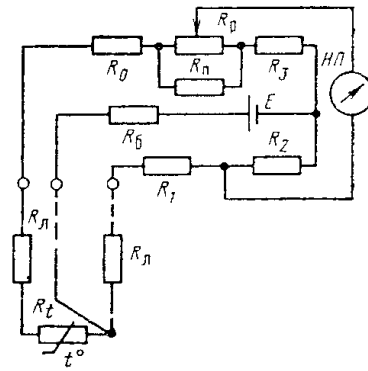


Рис. 2.15

2.78. Выше указывалось, что теоретически показания логометра не зависят от напряжения питания. Номинальное напряжение питания логометров  $U_{\text{пит}} = 4 \text{ В}$ .

Изменяются ли какие-либо метрологические характеристики логометра, если напряжение питания уменьшить до 0,4 В?

2.79. Возможно ли питание логометра пульсирующим напряжением (например, от двухполупериодного выпрямителя без фильтра)?

2.80. Определите значение сопротивления  $R_k$  логометра, которое служит для контроля работы и подгонки сопротивления соединительных проводов. Логометр градуировки 100 П имеет шкалу 0—600 °С, красная черта нанесена на отметке шкалы 350 °С. Схема логометра приведена на рис. 2.17.

2.81. Оцените погрешность измерения температуры измерительной системой термометр сопротивлений — логометр. Термометр сопротивления градуировки 50 М. Логометр типа Л-64 со шкалой 0—150 °С, класса I. Стрелка прибора стоит на отметке 120 °С. Сопротивление соединительных проводов подогнано с точностью  $\pm 0,05 \text{ Ом}$ . Допускаемая основная погрешность термометра 1 °С.

2.82. Металлический термопреобразователь стоит в газоходе, футерованном огнеупорным кирпичом. Температура термопреобразователя  $t_0 = 1420 \text{ }^\circ\text{N}$ , температура стенки газохода  $t_{\text{ст}} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от газового потока к термопреобразователю  $\alpha_k = 485 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$ , коэффициент излучения чехла термопреобразователя  $\varepsilon_t = 0,92$ .

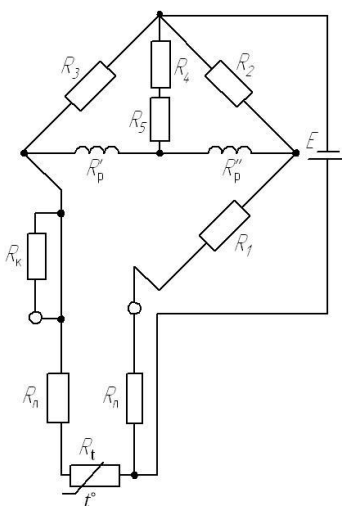


Рис. 2.16

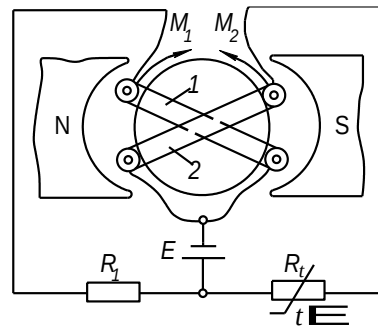


Рис. 2.17

Определите действительную температуру газа  $t_c$ , если считать, что погрешность измерения вызвана лучистым теплообменом между термопреобразователем и стенкой.

2.83. Для условия задачи 2.82 оцените погрешность, если абсолютные значения температуры уменьшились на  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. е.  $t_0 = 1120\text{ }^{\circ}\text{N}$  и  $t_{\text{нб}} = 800\text{ }^{\circ}\text{N}$ .

2.84. Термопреобразователь стоит в газоходе (аналогично задачам 2.82 и 2.83), но вокруг термопреобразователя установлен экран. Температура стенки  $t_{\text{нб}} = 1100\text{ }^{\circ}\text{N}$ , коэффициент теплоотдачи от газового потока к экрану  $\alpha_{\text{к1}} = 485\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ , температура экрана  $t_{\text{г}} = 1420\text{ }^{\circ}\text{N}$ , приведенный коэффициент теплового излучения системы термопреобразователь — экран  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,92$ , коэффициент теплоотдачи от газового потока к термопреобразователю  $\alpha_{\text{к2}} = 500\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ , температура газа  $t_{\text{г}} = 1903\text{ }^{\circ}\text{N}$ .

Оцените погрешность измерения температуры газа, вызванную лучистым теплообменом.

2.85. Для условия задачи 2.82 оцените погрешность измерения температуры газа, если температура стенки за счет изоляции повысилась до  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2.86. Термопреобразователь, измеряющий температуру воздуха, стоит в воздухопроводе. Температура термопреобразователя  $t_0 = 356\text{ }^{\circ}\text{N}$ , температура стенки воздухопровода  $t_{\text{нб}} = 270\text{ }^{\circ}\text{N}$ , термопреобразователь погружен в воздухопровод на глубину  $l = 100\text{ мм}$ , защитный чехол термопреобразователя выполнен из стали с теплопроводностью  $\lambda = 18\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ , наружный диаметр чехла  $d_{\text{н}} = 24\text{ мм}$ , внутренний диаметр чехла  $d_{\text{в}} = 16\text{ мм}$ , коэффициент теплоотдачи от воздуха к термопреобразователю  $\alpha_{\text{к}} = 50\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ .

Определите действительную температуру воздуха и погрешность, вызванную отводом теплоты по чехлу термопреобразователя. Погрешность, обусловленную лучистым теплообменом между термопреобразователем и стенкой воздухопровода, во внимание не принимать.

2.87. Для условия задачи 2.86 определите действительное значение температуры воздуха, если теплопроводность  $\lambda = 45\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ .

2.88. Для условия задачи 2.86 определите действительную температуру воздуха, если глубина погружения термопреобразователя  $l = 50\text{ мм}$ .

2.89. Для условия задачи 2.86 определите действительную температуру воздуха, если коэффициент теплоотдачи от воздуха к термопреобразователю  $\alpha_{\text{г}} = 200\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ .

2.90. Для условия задачи 2.86 определите действительное значение температуры воздуха, если температура стенки воздухопровода  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2.91. Термопреобразователь, измеряющий температуру газа, стоит в газопроводе. Температура термопреобразователя  $t_0 = 820\text{ }^{\circ}\text{N}$ , температура стенки газохода  $t_{\text{нб}} = 630\text{ }^{\circ}\text{N}$ , длина погруженной части термопреобразователя  $l = 100\text{ мм}$ , наружный диаметр чехла термопреобразователя  $d_{\text{н}} = 24\text{ мм}$ , внутренний диаметр чехла  $d_{\text{в}} = 16\text{ мм}$ , коэффициент теплопроводности чехла термопреобразователя  $\lambda = 18\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ , коэффициент теплового излучения термопреобразователя  $\varepsilon_{\text{г}} = 0,8$ , коэффициент теплоотдачи между газом и термопреобразователем  $\alpha_{\text{к}} = 90\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ .

Определите температуру газа  $t_{\text{г}}$ , считая, что температура термопреобразователя отличается от температуры газа за счет отвода теплоты по чехлу к стенке и за счет лучистого теплообмена между термопреобразователем и стенкой.

2.92. Для условия задачи 2.91 определите погрешность измерения температуры газа, пренебрегая отводом теплоты по чехлу за счет теплопроводности.

2.93. Пренебрегая условия задачи 2.91 определите погрешность измерения температуры газа, если пренебречь отводом теплоты за счет излучения.

2.94. В газовом потоке, движущемся со скоростью  $350\text{ м/с}$ , стоит термопреобразователь, который имеет температуру  $t_0 = 560\text{ }^{\circ}\text{N}$ .

Удельная теплоемкость газа  $c_{\text{п}} = 1500\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ . Коэффициент восстановления термопреобразователя  $r = 0,91$ .

Определите термодинамическую температуру газового потока  $T_{\text{г}}$  и температуру торможения  $T^*$ .

2.95. В общем виде уравнение, связывающее температуру термопреобразователя  $t_T$  и температуру измеряемой среды  $t_c$ , имеет вид:

$$T_d \frac{dt_T}{d\tau} + t_T = t_c,$$

где  $T_d$  — постоянная времени термопреобразователя, с;  $\tau$  — время, с.

Выведите зависимость  $t_T = f(\tau)$  при скачкообразном изменении температуры среды  $t_c$  от 20 до 300 °С и определите значение динамической погрешности через 300 с после изменения  $t_c$ . Постоянная времени  $T_d = 120$  с.

2.96. Определите постоянную времени термопреобразователя, если известно, что через 10 с после скачкообразного изменения температуры среды температура термопреобразователя составляла  $t_T(\tau) = 43$  °С. Температура среды до изменения была  $t_{c.н} = 0$  °С, температура среды после изменения  $t_{c.к} = 100$  °С. Теплообмен между термопреобразователем и средой описывается дифференциальным уравнением первого порядка.

2.97. Определите температуру расплавленного металла, если известно, что температура термоэлектрического термометра через 0,5 с после погружения в металл составляла  $t_1 = 608$  °С, через 1 с после погружения  $t_2 = 980$  °С и через 1,5 с  $t_3 = 1202$  °С. Регулярный тепловой режим нагрева термометра наступает через 0,3 с после погружения его в металл, и коэффициенты уравнения не зависят от температуры среды.

2.98. Температура газового потока постоянна и имеет значение свыше 2500 °С. Контактный малоинерционный термоэлектрический термометр на долю секунды был погружен в газовый поток и немедленно удален из него, не нагревшись до температуры потока.

Во время нахождения термометра в газовом потоке было измерено значение его температуры и были определены первая и вторая производные для этого же момента времени  $\tau_1$ .

Дифференциальное уравнение термометра имеет вид:

$$T_d \frac{dt_T}{d\tau} + t_T = t_c,$$

где  $t_T$  — температура термометра;  $t_c$  — температура среды;  $T_d$  — постоянная времени термометра.

Определите температуру среды, если известно, что в момент времени  $\tau = \tau_1$

$$t_T(\tau_1) = 657 \text{ °С}; \left[ \frac{dt_T}{d\tau} \right]_{\tau=\tau_1} = 669 \text{ (°С / с)}; \left[ \frac{d^2 t_T}{d\tau^2} \right]_{\tau=\tau_1} = -200 \text{ (°С / с)}.$$

2.99. Для условия задачи 2.98 оцените погрешность определения температуры газового потока, если известно, что температура термометра определена с погрешностью  $\delta t = \pm 0,5\%$ , первая производная — с погрешностью  $\delta t' = \pm 2\%$  и вторая производная — с погрешностью  $\delta t'' = \pm 10\%$ .

2.100. Определите, какую постоянную времени должен иметь термопреобразователь, чтобы он мог регистрировать синусоидальные колебания температуры среды с погрешностью, не превышающей 5 % диапазона изменения температуры среды. Максимальная частота колебаний составляет 8 Гц. Термопреобразователь описывается дифференциальным уравнением первого порядка (см. задачу 2.98).

2.101. Для измерения температуры  $t_c$  жидкой стали применяется термоэлектрический термометр однократного действия, который расплавляется через 3 с после погружения в металл.

Определите, какую постоянную времени должен иметь термометр, чтобы через  $\tau = 2$  после погружения в металл его температура  $t_t$  отличалась от температуры металла не более чем на 0,5 %. Термометр погружается в металл из воздуха, имеющего температуру  $t_t(0) = 40^\circ\text{C}$ .

2.102. Проанализируйте, какой из методов измерения температуры по излучению (квазимонохроматический, полного излучения или спектрального отношения) является более чувствительным в интервале температур 1000—4000K при длинах волн  $\lambda_1 = 0,65\text{ мкм}$  и  $\lambda_2 = 0,45\text{ мкм}$ .

2.103. Зависит ли чувствительность квазимонохроматического метода от значения эффективной длины волны спектральной энергетической яркости (например, при  $\lambda_1 = 0,65\text{ мкм}$  и  $\lambda_2 = 0,45\text{ мкм}$ ).

2.104. Почему в квазимонохроматических (оптических) пирометрах ОППИР-017 используется красный светофильтр ( $\lambda_s = 0,65\text{ мкм}$ ), а не синий (т. е. с меньшей эффективной длиной волны, при которой чувствительность выше).

2.105. Сохраняется ли работоспособность квазимонохроматического (оптического) пирометра, если в его оптической схеме поменять местами красный светофильтр и поглощающее стекло?

2.106. Температура газохода измеряется квазимонохроматическим (оптическим) пирометром. Стрелка пирометра показывает температуру  $1100^\circ\text{C}$ .

Определите действительную температуру газохода и систематическую погрешность измерения температуры стенки, если коэффициент теплового излучения ее составляет  $\varepsilon_\lambda = 0,75$  мкм. Эффективная длина волны пирометра  $\lambda_s = 0,65\text{ мкм}$ .

2.107. Предположим, что коэффициент теплового излучения тела не зависит от температуры.

Будет ли при этом погрешность показаний квазимонохроматического пирометра от неполноты излучения (т. е. разность между яркостной и истинной температурами) зависеть от температуры тела?

2.108. Определите коэффициент пирометрического ослабления поглощающего стекла квазимонохроматического пирометра, если известно, что температура, отсчитанная по одной и той же шкале пирометра без поглощающего стекла, составила  $1103^\circ\text{C}$ , а с поглощающим стеклом  $806^\circ\text{C}$ .

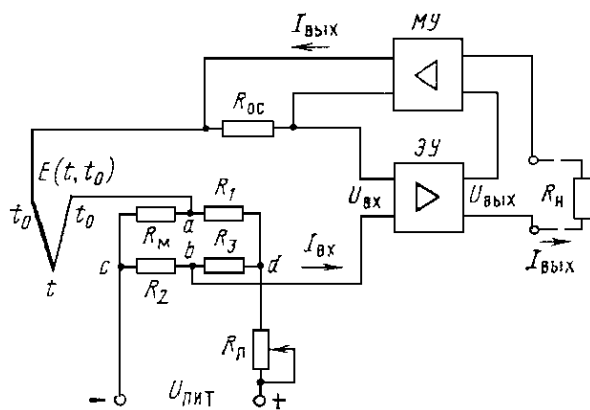


Рис. 2.18

2.109. При измерении температуры стального слитка квазимонохроматическим пирометром эффективная длина волны составляет  $\lambda_s = 0,66 \pm 0,01\text{ мкм}$ , монохроматический коэффициент теплового излучения  $\varepsilon_\lambda = 0,65 \pm 0,05$ . Температура, отсчитанная по пирометру, равна  $1100^\circ\text{C}$ .

Определите систематическую погрешность метода измерения, вызванную «нечернотой» слитка, а также границы этой погрешности, обусловленные погрешностями определения  $\lambda_s$  и  $\varepsilon_\lambda$ .

Погрешности пирометра и погрешности отсчета температуры наблюдателем во внимание метра и погрешности отсчета температуры наблюдателем во внимание не принимать.

2.110. Пирометр полного излучения (радиационный) имеет показатель визирования  $n = \frac{1}{7}$ . Диаметр калильной трубки, на которую визируется пирометр, – 30 мм.

Определите максимальное расстояние  $l$  между отверстием калильной трубки и термоприемником пирометра.

2.111. Можно ли пирометром полного излучения измерить температуру слитка в нагревательном колодце, если сторона слитка имеет размеры 1800×400 мм, расстояние от слитка до пирометра – 1400 мм, показатель визирования  $n = \frac{1}{7}$ .

2.112. Оцените систематическую погрешность измерения температуры радиационным методом. Радиационная температура  $t_p = 1627^\circ\text{C}$ , коэффициент теплового излучения  $\varepsilon = 0,38$ .

2.113. Оцените систематическую погрешность измерения температуры методом спектрального отношения, если цветовая температура  $t_c = 1247^\circ\text{C}$ , коэффициент теплового излучения  $\varepsilon_{\lambda_1} = 0,358$  (при  $\lambda_1 = 0,65$  мкм) и  $\varepsilon_{\lambda_2} = 0,390$  (при  $\lambda_2 = 0,45$  мкм).

2.114. Определите значение  $R_{\text{н}}$  (рис. 2.18) нормирующего преобразователя градуировки К 0 – 800 °С в предположении, что корректирующий мост сбалансированный при 0 °С и осуществляет полную компенсацию во всем диапазоне изменения температуры свободных концов термоэлектрического термометра. Известны следующие параметры преобразователя:

Коэффициент усиления усилителя по току  $K_1 \dots \dots \dots 2\,500$

Входное сопротивление усилителя  $R_{\text{вх}} \dots \dots \dots 70\,\text{Ом}$

Номинальное сопротивление внешней цепи термоэлектрического термометра вместе с сопротивлением корректирующего моста  $R_0 \dots \dots \dots 30\,\text{Ом}$

Номинальное сопротивление нагрузки усилителя с учётом сопротивления гальванического разделителя  $R_1 \dots \dots \dots 20\,000\,\text{Ом}$

Выходное сопротивление усилителя  $R_{\text{вых}} \dots \dots \dots 35\,000\,\text{Ом}$

2.115. Для нормирующего преобразователя (рис. 2.18), исходя из условия 2.114, оцените дополнительную погрешность в конце диапазона преобразования, вызванную уменьшением коэффициента усиления на 10 % первоначального значения.

2.116. Какие элементы и каким образом следует изменить в измерительной схеме нормирующего преобразователя с диапазоном преобразования 0—600 °С, если градуировку К заменить на градуировку ХК. Корректирующий мост (рис. 2.18) сбалансирован при температуре  $t = 0^\circ\text{C}$ ;  $R_1$  и  $R_3$  неизменны.

2.117. Произведите расчет медного сопротивления  $R_m$  для преобразователя 0—800 °С градуировки К для расчетной температуры свободных концов  $t_0 = 25^\circ\text{C}$  при условии  $R_1 = R_3 = 2\,\text{кОм}$ ,  $U_{\text{пит}} = 5,5\,\text{В}$ ; сопротивление источника питания считать равным нулю.

Сопротивление нагрузки моста считается бесконечно большим, мост сбалансирован при 0 °С. Температурный

1.20.



Перечень вопросов к экзамену:

1. Что понимается под прямыми и косвенными измерениями?
2. Как подразделяются средства измерения в зависимости от назначения?
3. Погрешности измерения.
4. Класс точности и допускаемые погрешности.
5. Основные свойства измерительных приборов.
6. Поверка измерительных приборов.
7. Методы измерения температур.
8. Температурные шкалы.
9. Классификация приборов для измерения температур.
10. Стеклённые и жидкостные термометры (общая характеристика).
11. Охарактеризуйте манометрические термометры и их конструктивное оформление.
12. Охарактеризуйте основные свойства термоэлектрических термометров и их конструктивное оформление.
13. Условия возникновения термоЭДС.
14. Измерение термоЭДС милливольтметром.
15. Компенсационный метод измерения термоЭДС.
16. Охарактеризуйте различные типы термометров из группы благородных металлов и их конструктивное оформление.
17. Охарактеризуйте различные типы термометров из группы неблагородных металлов и их конструктивное оформление.
18. Назначение и принцип действия милливольтметра.
19. Приведите принципиальную схему потенциометра и поясните принцип его действия.
20. Назначение потенциометра типа ПП
21. За счёт чего создается противодействующий момент в милливольтметре?
22. Суть нулевого метода измерений.
23. Принцип действия и разновидности термометров сопротивления.
24. Дайте полную характеристику медным термометрам сопротивления.
25. Дайте полную характеристику платиновым термометрам сопротивления.
26. Основные характеристики термометров сопротивления.
27. Конструктивное оформление медных термометров сопротивления.
28. Конструктивное оформление платиновых термометров сопротивления.
29. Полупроводниковые термометры сопротивления.
30. Вторичные приборы термометров сопротивления (общая характеристика).
31. Принцип действия и устройство логометра.
32. За счёт чего происходит уравнивание электрических моментов в логометре?
33. Особенности двух и трехпроводной систем подключения термометра сопротивления к логометру.
34. Уравновешенные измерительные мосты.
35. Неуравновешенные измерительные мосты.
36. Автоматические уравновешенные мосты.
37. Пирометры частичного излучения (оптические пирометры).
38. Классификация приборов для измерения давления.
39. Жидкостные манометры
40. Деформационные манометры.
41. Дифференциальные манометры
42. Предел пропорциональности трубки манометра.
43. Упругое последствие трубки манометра.
44. Разновидности упругих элементов деформационных манометров.
45. Расход вещества. Единицы измерения.
46. Классификация расходомеров по принципу действия.
47. Расходомеры переменного перепада давления.
48. Условия применения расходомеров переменного перепада давления.
49. Стандартные сужающие устройства.
50. Основные правила установки сужающего устройства.
51. Ротаметры.
52. Назначение уровнемера.
53. Поплавковый и буйковый указатель уровня.
54. Гидростатический уровнемер.
55. Дифманометрические уровнемеры.
56. Классификация уровнемеров по принципу действия.
57. Назначение газоанализаторов.
58. Хроматографические газоанализаторы.
59. Классификация газоанализаторов по принципу действия.
60. Кондуктометрические газоанализаторы.