

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»
«имени Гумарбека Даукеева»
Кафедра автоматизации и управления



AUES

Since 1975

Расчетно-графическая работа №2

Оценка погрешностей результатов прямых и косвенных измерений

Дисциплина: Метрология, Стандартизация, Сертификация И Управление
Качеством

Специальность: Автоматизация и управление

Выполнил: Суворов Роман

Группа: АУ-18-5

Вариант: 21

Принял(-а): Хан С.Г

_____ «___» _____ 2020г.
(оценка) (подпись)

Алматы, 2020г.

Источники

Задача №1.....	3
Задача №2.....	3
Задача № 3.....	4
Задача № 4.....	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	8

Цель работы: изучение способов расчета основных и дополнительных погрешностей средств измерений, а также результатов однократных прямых и косвенных измерений.

Задача №1.

Расширенная область значений влияющих величин(РОЗ): от -50°C до 50°C . Нормальные условия(Н.У.) : $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Класс точности измерительного прибора равен 0.25. Прибор работает при $t_{\text{эксплуатации}} = 30^{\circ}\text{C}$. Нормированное значение предела допускаемой дополнительной погрешности равно $\delta_{\text{доп}} = 0.1\%$ на каждые $t_{\text{откл}} = 5^{\circ}\text{C}$ отклонения температуры окружающей среды от нормальной области. Определить погрешность показаний прибора.

Решение:

Погрешность показаний прибора равна: $\delta_n = \pm (\delta_{\text{осн}} + \delta_{\text{доп}})$.

Основная погрешность измерительного прибора $\delta_{\text{осн}}$ определяется классом точности измерительного прибора и равна 0.1% .

Для определения дополнительной погрешности найдем отклонение температуры окружающей среды от нормальной области значений $20 \pm 5^{\circ}\text{C} = (15 \div 25)^{\circ}\text{C}$: $\Delta t_{\text{окр.ср.}} = 30 - 25 = 5^{\circ}\text{C}$. Дополнительная погрешность измерительного прибора:

$$\delta_{\text{доп}} = \frac{0,2\% * t_{\text{окр.ср.}}}{10^{\circ}\text{C}} = \frac{0,2\% * 5^{\circ}\text{C}}{10^{\circ}\text{C}} = \pm 0,1\%$$

Погрешность показаний прибора $\delta_n = \pm (\delta_{\text{осн}} + \delta_{\text{доп}}) = \pm (0,5 + 0,1)\% = \pm 0,6\%$.

Ответ: $\delta_n = \pm 0,6\%$.

Задача №2.

Выбрать класс точности и диапазон измерения манометра для измерения номинального давления 40 кПа с относительной погрешностью, не превышающей 2% . Записать результат измерения, если манометр показал 38 кПа , измерение проводилось в нормальных условиях и методическая погрешность была пренебрежительно мала.

Решение:

Поскольку номинальное значение параметра должно попадать во вторую половину диапазона измерений вольтметра, выбираем вольтметр с диапазоном измерения от 0 кПа до 50 кПа , так как:

Номинальное значение 40 кПа это 80% от верхнего значения диапазона. То есть X – это верхнее значение и это 100% . Используя соотношение получаем:

$$X = \frac{40 \text{ кПа} * 100\%}{80\%} = 50 \text{ кПа}.$$

$$\delta = \frac{\Delta * 100\%}{U_{\text{ном}}}, \Delta = \frac{\delta * U_{\text{ном}}}{100\%} = \frac{2\% * 50 \text{ кПа}}{100\%} \leq 1 \text{ кПа}.$$

Приведенная погрешность:

$$\gamma = \frac{\Delta * 100\%}{U_N} = \frac{1 \text{ кПа} * 100\%}{50 \text{ кПа}} = 2\%.$$

$\Delta X = \frac{\gamma * U_N}{100\%} = \frac{2\% * 50 \text{ кПа}}{100\%} = 1 \text{ кПа}$. Полученное значение не превышает 0,18 В, как и должно получиться.

$U = U_{\text{изм}} \pm \Delta U = (38 \pm 1) \text{ В}$. При округлении получим:

$U = (38 \pm 1) \text{ В}$.

Ответ: $U = (38 \pm 1) \text{ В}$.

Задача № 3.

При измерении расхода калориметрическим расходомером измерение мощности нагревателя производится по показаниям амперметра и вольтметра. Оба эти прибора имеют класс точности Кл=0.25, работают в нормальных условиях и имеют соответственно шкалы 0-5 А и 0-30 В. Номинальные значения силы тока 2.0 А и напряжения 30 В. Оценить погрешность, с которой производится измерение мощности. Представить результат измерения мощности нагревателя в соответствии с правилами округления.

Решение:

Погрешность измерения мощности нагревателя W оценивается как погрешность косвенного измерения по формуле:

$$\Delta W = \sqrt{\left(\frac{dW}{dU} * \Delta U\right)^2 + \left(\frac{dW}{dI} * \Delta I\right)^2}$$

$$\Delta U = \frac{(U_B - U_H) * Кл}{100\%} = \frac{(30 - 0) * 0,25}{100\%} = \pm 0,125 \text{ В}.$$

$$\Delta I = \frac{(I_B - I_H) * Кл}{100\%} = \frac{(5 - 0) * 0,25}{100\%} = \pm 0,0125 \text{ А}.$$

Известно, что мощность равна $W = I * U = 2 * 30 = 60 \text{ Вт}$, тогда

$$\frac{dW}{dU} = I, \frac{dW}{dI} = U$$

$$\Delta W = \sqrt{(2 * 0,25)^2 + (30 * 0,025)^2} = \pm 0,463 \text{ Вт}.$$

$$\delta W = \frac{\Delta W * 100\%}{W} = \frac{0,463 \text{ Вт} * 100\%}{60 \text{ Вт}} = \pm 0,772\%$$

Ответ: $\Delta W = \pm 0.463 \text{ Вт}$, $\delta W = \pm 0,772\%$

$W = (60 \pm 0.463) \text{ Вт} = (60.0 \pm 0.5) \text{ Вт}$.

Задача № 4.

Сила тока измеряется амперметром со шкалой $(0 \div 60) \text{ А}$ класса точности 0,25, номинальное значение тока 48 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 $R_0 = 1 \text{ Ом}$, $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$. Относительная погрешность измерения сопротивления не превышает $\pm 0,3\%$. Поверхность трубки F определяется по длине l и его диаметру d , $F = \pi \cdot d \cdot l$. Значение длины $l = (100 \pm 0,2) \text{ мм}$, диаметра $d = (20 \pm 0,05) \text{ мм}$. Температура стенки трубки t_c измеряется стандартным термоэлектрическим термометром градуировки ПП. Термометр через сосуд свободных концов подсоединяется к лабораторному потенциометру КСП-4 с ценной деления 0,1 мВ. Номинальное значение температуры стенки 300 °С. Температура воздуха t_b измеряется вдали от трубки ртутным термометром повышенной точности со шкалой $(100 \div 150) \text{ °С}$ и предел допускаемой основной погрешности 0,1 °С. Номинальное значение температуры воздуха составляет 145 °С. Оценить погрешность измерения коэффициента теплоотдачи на лабораторной установке. Погрешностями, связанными с методами измерения, пренебречь. Результат измерения записать в соответствии с правилами округления.

Решение:

При исследовании теплоотдачи от трубы к воздуху коэффициент теплоотдачи подсчитывается из выражения:

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

Коэффициент теплоотдачи определяется как результат косвенных измерений параметров Q , F , t_c и t_b . Поэтому предел допускаемой абсолютной погрешности определения коэффициента теплоотдачи может быть подсчитан из выражения:

$$\Delta \alpha_k = \sqrt{\left(\frac{d\alpha_k}{dQ} \cdot \Delta Q\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dF} \cdot \Delta F\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dt_c} \cdot \Delta t_c\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dt_b} \cdot \Delta t_b\right)^2}$$

Предел допускаемой погрешности, мВ, потенциометра ПП-63 определяется по формуле:

$\Delta I_n = \pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,5 \cdot U_p)$, где $U = E_{\text{ПП}}(300, 0) = 2,314 \text{ мВ}$. (По градуировочной таблице градуировки ПП), а $U_p = 0,1$ – цена деления,

$\Delta I_n = \pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,5 \cdot U_p) = \pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot 2,314 + 0,5 \cdot 0,1) = \pm 0,06 \text{ мВ}$.

Оценим предел суммарной погрешности ΔI_{Σ} измерения температуры в предположении, что погрешности термометра и потенциометра являются независимыми величинами. Тогда

$\Delta I_{\Sigma} = \sqrt{\Delta I_{\text{тмп}}^2 + \Delta I_{\text{п}}^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,06^2} = \pm 0,061$ мВ, где $\Delta I_{\text{тмп}}$ – значение погрешности из таблицы «Пределы допустимых основных погрешностей термоэлектрических термометров при температуре свободных концов 0 °С».

Переведем это значение из мВ в °С с помощью градуировочной таблицы и получим $\Delta t_c = 11^\circ\text{С}$.

Оценим предел погрешности определения поверхности теплообменника F:

$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{dF}{dd} * \Delta d\right)^2 + \left(\frac{dF}{dl} * \Delta l\right)^2}$, где $\frac{dF}{dd} = \pi * l$; $\frac{dF}{dl} = \pi * d$, $\Delta d = 0,05\text{мм}$, $\Delta l = 0,2\text{мм}$.

$$\Delta F =$$

$$= \sqrt{(\pi * l * \Delta d)^2 + (\pi * d * \Delta l)^2}$$

$$= \sqrt{(3,14 * 100 * 10^{-3} * 0,05 * 10^{-3})^2 + (3,14 * 20 * 10^{-3} * 0,2 * 10^{-3})^2}$$

$$= 20,106 * 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Теперь можно оценить погрешность определения количества теплоты, передаваемой от трубки к воздуху:

$$Q = R_t * I_{\text{ном}}^2$$

$$R_t = R_0(1 + \alpha * t_c) = 1 * (1 + 4,3 * 10^{-3} * 300) = 2,29 \text{ Ом}$$

$$\Delta Q = \sqrt{\left(\frac{dQ}{dR} * \Delta R\right)^2 + \left(\frac{dQ}{dI} * \Delta I\right)^2}, \text{ где } \frac{dQ}{dR} = I_{\text{ном}}^2; \frac{dQ}{dI} = 2R_t * I_{\text{ном}}.$$

$$\Delta I = \frac{\gamma * I_N}{100\%} = \frac{0,25\% * 60 \text{ А}}{100\%} = 0,15 \text{ А}.$$

Оценим предел суммарной погрешности определения сопротивления нагреваемой трубки по ее температуре, полагая, что погрешность градуировки трубки и погрешность измерения температуры – независимые величины.

$$\Delta R = \sqrt{\Delta R_n^2 + \Delta R_t^2}$$

Погрешность определения значения R обусловлена погрешностью прибора, измеряющего сопротивление, и погрешностью измерения температуры. Составляющая погрешности, обусловленная погрешностью прибора, не превышает:

$$\Delta R_{\text{п}} = \pm ((\delta R / 100\%) * R_t) = \pm (0,003 * 2,29) = \pm 6,87 * 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Составляющая погрешности, обусловленная погрешностью измерения температуры, не превышает:

$$\Delta R_t = \pm R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t_c = \pm 1 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 11 = \pm 47,3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

$$\Delta R = \sqrt{\Delta R_n^2 + \Delta R_t^2} = \sqrt{0,00687^2 + 0,0473^2} = 0,048 \text{ Ом.}$$

$$\Delta Q = \sqrt{(I_{\text{НОМ}}^2 \cdot \Delta R)^2 + (2 R t \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot \Delta I)^2} = \sqrt{(48^2 \cdot 0,048)^2 + (2 \cdot 2,29 \cdot 48 \cdot 0,15)^2} = 115,404 \text{ Вт.}$$

$$Q = R_t \cdot I_{\text{НОМ}}^2 = 2,29 \cdot 48^2 = 5276,16 \text{ Вт.}$$

$$\Delta \alpha_k = \sqrt{\left(\frac{d\alpha_k}{dQ} \cdot \Delta Q\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dF} \cdot \Delta F\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dt_c} \cdot \Delta t_c\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dt_{\theta}} \cdot \Delta t_{\theta}\right)^2}$$

Для оценки предела погрешности определения коэффициента теплоотдачи воспользуемся формулой для определения абсолютной погрешности. Вначале определим частные производные:

$$\frac{d\alpha_k}{dQ} = \frac{1}{F(t_c - t_{\theta})} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{-3}(300 - 145)} = 1,03 \text{ 1/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}, \text{ где } F = \pi \cdot l \cdot d = 3,14 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$\frac{d\alpha_k}{dF} = \frac{Q}{F^2(t_c - t_{\theta})} = \frac{5276,16}{(6,28 \cdot 10^{-3})^2(300 - 145)} = 863,11 \cdot 10^3 \text{ Вт/(м}^4 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\frac{d\alpha_k}{dt_c} = \frac{Q}{F(t_c - t_{\theta})^2} = \frac{5276,16}{6,28 \cdot 10^{-3}(300 - 145)^2} = 34,97 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C}^2)$$

$$\frac{d\alpha_k}{dt_{\theta}} = \frac{Q}{F(t_c - t_{\theta})^2} = \frac{5276,16}{6,28 \cdot 10^{-3}(300 - 145)^2} = 34,97 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C}^2)$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta \alpha_k = \sqrt{\left(\frac{d\alpha_k}{dQ} \cdot \Delta Q\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dF} \cdot \Delta F\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dt_c} \cdot \Delta t_c\right)^2 + \left(\frac{d\alpha_k}{dt_{\theta}} \cdot \Delta t_{\theta}\right)^2} = \sqrt{(1,03 \cdot 115,404)^2 + (863,11 \cdot 10^3 \cdot 20,106 \cdot 10^{-6})^2 + (34,97 \cdot 11)^2 + (34,97 \cdot 0,1)^2} = 403,006 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Расчетный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_k = \frac{Q}{F(t_c - t_{\theta})} = \frac{5276,16}{6,28 \cdot 10^{-3}(300 - 145)} = 5420,341 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C}^2)$$

Результат:

$$\alpha_k = (5420,341 \pm 403,006) \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) = (5400 \pm 400) \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\text{Ответ: } \alpha_k = (5400 \pm 400) \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой расчётно графической работе я изучил способы расчёта основных и дополнительных погрешностей средств измерений, а также результатов однократных прямых и косвенных измерений.

Я научился подбирать прибор согласно требованиям измерений, выбирать правильный диапазон измерения, рассчитывать погрешности средств измерений, и рассчитывать суммарную погрешность первичного и вторичного прибора.

Ответы:

Задача 1 : $\delta_n = \pm 0,6\%$.

Задача 2 : $U = (38 \pm 1)\text{В}$.

Задача 3 : $\Delta W = \pm 0.463 \text{ Вт}$, $\delta W = \pm 0,772\%$

$$W = (60 \pm 0.463)\text{Вт} = (60.0 \pm 0.5)\text{Вт}.$$

Задача 4 : $\alpha_k = (5400 \pm 400) \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$