

УДК 536.531:681.586.36

В.С. Лузганов, Ю.В. Марущенко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЕМКОСТНЫМИ ДАТЧИКАМИ

В статье проведен расчет погрешностей измерений температуры поверхности емкостными преобразователями за счет наличия линии передачи.

Ключевые слова: погрешность, теплоотток, ёмкостный термопреобразователь, теплообмен

Введение

Постановка задачи. Тепловые требования, обуславливающие конструкцию и монтаж высокотемпературных емкостных преобразователей, связаны с условиями теплообмена между термометром и объектом (рамой дорожно-строительной машины), температура которого измеряется [1 – 3]. Нарушение термопреобразователем распределения температуры и тепловых потоков в исследуемом объекте приводит к методической погрешности измерения.

Для термопреобразователей погружения, измеряющих температуру жидких и газообразных сред, эта погрешность практически отсутствует [3]. В этом случае наиболее подходит коаксиальная конструкция емкостного термопреобразователя.

Анализ последних исследований и публикаций. При измерении температуры поверхности рамы дорожно-строительной машины, результат значительно зависит от температурного возмущения объекта, вследствие изменения условий теплообмена на поверхности при наличии термопреобразователя [4].

Дополнительное искажение вносит несовершенство теплового контакта преобразователя с объектом, наличие между термопреобразователем и контролируемой поверхностью конструктивных элементов, имеющих конечное термическое сопротивление [5]. Для измерения температуры поверхности лучше всего подходит термопреобразователь, имеющий конструкцию в виде пластинчатого конденсатора прямоугольной либо цилиндрической формы.

Наличие теплового контакта между термопреобразователем и контролируемым объектом приводит к оттоку (притоку) тепла по преобразователю, следовательно, к погрешности измерения. Эта погрешность в отдельных случаях может достигать больших значений [6].

Результаты исследований

Рассмотрим очень протяженную тонкую однородную пластину рамы дорожно-строительной машины, температура которой измеряется при помощи цилиндрического емкостного термопреобразователя, имеющего хороший тепловой контакт с пластиной, например, обкладкой он припаян к раме дорожно-строительной машины. Один электрод напылен и подключен в схему линии передачи диаметром d , вторая обкладка припаяна к контролируемой пластине (рис. 1). Выберем цилиндрическую систему координат.

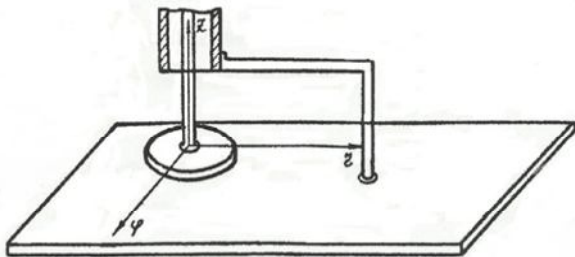


Рис. 1. К расчету погрешности, обусловленной теплооттоком по линии передачи

Поверхность термопреобразователя при $z = 0$ имеет температуру пластины, поверхность $z = l$ находится в теплообмене с окружающей средой. Так как $l = 0.1$ мм и менее, теплопроводность керамики

$$T_1 = \frac{Q}{h\lambda_1} \left[1 - \frac{0,125d(\alpha + 2\lambda_2\beta_2)K_0(\beta_1 d / 2)}{0,125(\alpha + 2\lambda_2\beta_2)K_0(\beta_1 d / 2) + h\lambda_1\beta_1 K_1(\beta_1 d / 2)} \right];$$

$$T_2 = \frac{Q}{h\lambda_1} \left[1 - \frac{0,125d(\alpha + 2\lambda_2\beta_2)K_0(\beta_1 d / 2)}{0,125(\alpha + 2\lambda_2\beta_2)K_0(\beta_1 d / 2) + h\lambda_1\beta_1 K_1(\beta_1 d / 2)} \right] \cdot \exp(-\beta_2 z).$$

Тогда относительная погрешность измерения температуры поверхности будет:

$$\delta T = \frac{T_1 - T_0}{T_0} = - \frac{0,125d(\alpha + 2\lambda_2\beta_2)K_0(\beta_1 r)}{0,125d(\alpha + 2\lambda_2\beta_2)K_0(\beta_1 d / 2) + h\lambda_1\beta_1 K_1(\beta_1 d / 2)},$$

где $T_0 = Q/(h\lambda_1)$ – температура пластины без термопреобразователя.

термопреобразователя велика, можно пренебречь градиентом температуры по толщине. Предположим, что теплофизические свойства рамы материала дорожно-строительной машины и термопреобразователя не зависят от температуры, и градиент температуры по толщине пластины отсутствует. Уравнение теплового баланса тонкой пластины рамы дорожно-строительной машины с преобразователем запишем в дифференциальной форме [7]:

$$\frac{d^2 T_1}{dr^2} - \frac{1}{r} \frac{dT_1}{dr} - \beta_1^2 T_1 = - \frac{Q}{h\lambda_1}, \quad (1)$$

где $\beta_1^2 = \alpha_1/(h\lambda_1)$; α_1 – коэффициент теплообмена; h – толщина пластины; λ_1 – коэффициент теплопроводности пластины; Q – источник тепла.

Интеграл этого уравнения известен:

$$T_1 = Q/(h\lambda_1) + A_1 I_0(\beta_1 r) + A_2 K_0(\beta_1 r), \quad (2)$$

где $I_0(\beta_1 r)$ и $K_0(\beta_1 r)$ – функции Бесселя первого и второго рода нулевого порядка. Чтобы уравнение (2) удовлетворяло условию конечности, необходимо принять $A_2 = 0$.

Стационарное распределение температуры вдоль соединительного провода описывается уравнением:

$$\frac{d^2 T_2}{dz^2} - \beta_2^2 T_2 = 0, \quad (3)$$

где $\beta_2^2 = 2d_2/(d\lambda_2)$; d – диаметр провода.

Решением этого уравнения, как известно, является выражение:

$$T_2 = A_3 \exp(\beta_2 z) + A_4 \exp(-\beta_2 z), \quad (4)$$

в котором необходимо положить $A_3 = 0$, чтобы это уравнение удовлетворяло условию конечности.

Уравнения (1) и (3) должны удовлетворять следующим условиям:

$$T_1|_{r=d/2} = T_2|_{z=0};$$

$$h\lambda_1 \frac{dT_1}{dS} \Big|_{r=d/2} = - \frac{d}{4} \lambda_2 \frac{dT_2}{dz} \Big|_{z=0}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (1) и (3) с граничными условиями (5), получим:

На ЭВМ рассчитаны значения погрешности, обусловленной теплооттоком по линии передачи, для различных материалов (табл. 1 и рис. 2).

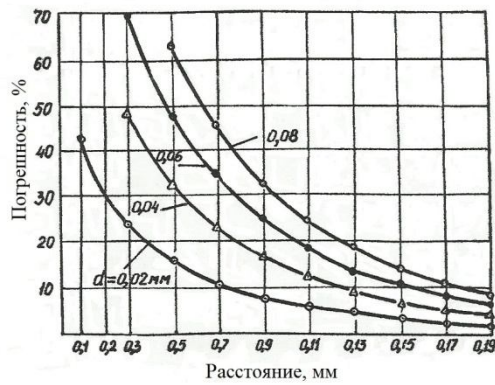


Рис. 2. Зависимость погрешности, обусловленной теплооттоком по линии передачи, от геометрических размеров

Таблица 1

Зависимость погрешности, обусловленной теплопритоком, от геометрических размеров

при $\alpha_1 = 10 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $\alpha_2 = 10 \text{ Вт/м}^2\text{К}$,

$\lambda_1 = 10 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $\lambda_2 = 384 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $H = 0,01 \text{ мм}$

Расстояние от центра провода, мм	Погрешность, %, при диаметре провода, мм				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
0,01	43,5	-	-	-	-
0,02	31,4	61,9	-	-	-
0,03	24,6	48,5	71,0	-	-
0,04	20,0	39,4	57,6	76,3	-
0,05	16,6	32,7	47,8	63,2	79,7
0,06	13,9	27,5	40,2	53,2	67,1
0,07	11,8	23,3	34,2	45,2	51,0
0,08	10,1	20,0	29,2	38,7	48,8
0,09	8,7	17,2	25,2	33,3	42,0
0,10	7,5	14,9	21,8	28,8	36,3
0,11	6,6	12,9	18,9	25,0	31,5
0,12	5,7	11,2	16,6	21,8	27,5
0,13	5,0	9,8	14,4	19,0	24,0
0,14	4,4	8,6	12,6	16,7	21,0
0,15	3,8	7,5	11,0	14,6	18,4
0,16	3,4	6,7	9,7	12,9	16,2
0,17	3,0	5,8	8,6	11,3	14,3
0,18	2,6	5,1	7,6	10,0	12,6
0,19	2,3	4,6	6,7	8,8	11,1
0,20	2,0	4,0	5,9	7,8	9,8

Выводы

Из полученных зависимостей следует вывод, что диаметр преобразователя должен быть в 10-100 раз больше диаметра соединительного провода, чтобы существенно уменьшить погрешность измерения температуры поверхности за счет ее усреднения по большой площади [8, 9].

Список литературы

1. ДСТУ 3518-97. Термометрія. Терміни та визначення. [Текст] . – Чинний від 1998-01-01. - К. : Держстандарт України, 1997. – 96 с.
2. ДСТУ 3742-98. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань температури. Контактні засоби вимірювань температури. [Текст]. – Чинний від 1999-01-01. – К. : Держстандарт України, 1998. – 28 с.
3. ДСТУ 3622-97 (ГОСТ 30543-97). Перетворювачі термоелектричні. Основні вимоги щодо вибору та використання. [Текст] - Чинний від 1999-07-01. - К. : Держстандарт України, 1998. - 15 с.
4. Вимірювання температури: теорія та практика [Текст] / Я.Т. Луцук, Б. . Стадник [та інші.] – Львів : Бескид Біт. - 2006. – 586 с.
5. Войнович, І. Д. Інтелектуальні сенсори [Текст] / І.Д. Войнович, В.М. Корсунський. – К. : Інститут кібернетики. – 2007. - 514 с.
6. Кулаков, М. В. Измерение температуры поверхности твердых тел [Текст] - 2-е изд., перераб. и доп. / М. В. Кулаков, Б. И. Макаров. - М. : Энергия, 1979. – 96 с.
7. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел [Текст] / Пер. с англ. / Г. Карслоу, Д. Егер. – М. : Наука, 1964. – 488 с.
8. Лузганов, В.С. Особенности сертификации радиочастотных термометров для дистанционного контроля [Текст] // Труды 1-й науч.- произв. конференции СКИТ-97. - Киев, 1998. – С. 279-280.
9. Лузганов, В.С. Метрологічне забезпечення температурного контролю засобів вимірювань лінійних величин [Текст] / В.С. Лузганов, І.В. Кондратова // 9-й Міжнародний молодіжний форум «Радиоелектроніка і молодь в ХХІ столітті», 19 – 21 квітня 2005 г. – Харків : ХНУРЕ, 2005. - С. 164 - 165.

Поступила в редколлегию 6.08.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л. И. Нефедов, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ЄМНІСНИМИ ДАВАЧАМИ

В.С. Лузганов, Ю.В. Марущенко

Розрахована похибка вимірювань температури поверхні ємнісними перетворювачами за рахунок наявності лінії передавання.

Ключові слова: похибка, тепловідтік, ємнісний термометр, теплообмін

IDENTIFICATION SOURCES OF MEASURING ERRORS OF TEMPERATURE CAPACITIVE SENSORS

V.S. Luzganov, U.V. Maruchenko

Measurement error surface temperature capacitive sensors at the expense of the transmission line was calculated.

Keywords: error, heat removal, capacitive thermocouple, heat exchange.