

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

**КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ ТЕРМОПАР,  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ**

Утверждено  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве  
методических указаний  
к лабораторной работе  
для студентов

**КУЙБЫШЕВ 1986**

Методические указания к лабораторной работе соответствуют профилю специальности 0705. Рассматривается необходимый теоретический материал, подкрепляющий раздел курса "Тепломассообмен в РЭА" – определение погрешности измерения температур. Работа соответствует новому учебному плану.

В работе даны необходимые контрольные вопросы для отчета и перечень литературы.

Рецензенты: В.Н. Кудряков, А.И. Копляков

Составитель Галина Федоровна Краснощекова

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ ТЕРМОПАР.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Редактор Е.Д. Антипова  
Техн. редактор Н.М. Каленюк  
Корректор Н.С. Купринова

Подписано в печать 23.12.86 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.  
Усл.п.л. 1,2. Уч.-изд.л. 1,0. Т. 300 экз.  
Заказ 472. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П. Королёва,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Обл. тип. им. В.И. Мяги, г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.

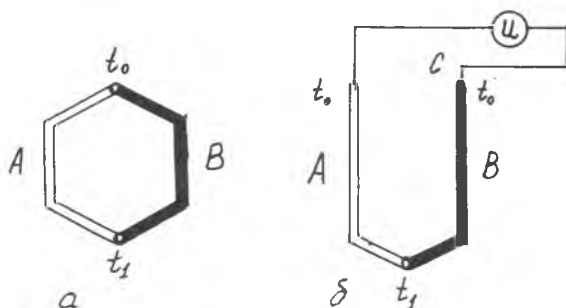
# ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕРМОПАР

Ц е л ь р а б о т ы - научиться изготавливать термопары.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Т е р м о п а р а - электрическая цепь, состоящая из двух разнородных проводников, соединенных между собой концами (рис. I). Если места соединения проводников имеют разные температуры  $t_1$  и  $t_0$ , то в цепи появится термоЭДС, называемая термоэлектродвижущей силой:

$$F_{AB}(t_1; t_0) = f(t_1) - f(t_0). \quad (1)$$



Р и с. I. Схемы соединения термопар

Проводники, составляющие термопару, называются термоэлектродами, а места их соединения - спаями. Термопара может быть применена для измерения температуры, если один ее спай, называемый рабочим, поместить в среду с температурой  $t_1$ , которую нужно измерить, а температуру другого спая, нерабочего, поддерживать постоянной. Тогда  $f(t_0) = const$ ,

$$F_{AB}(t_1; t_0) = f(t_1) - C = f(t_1). \quad (2)$$

Эта зависимость положена в основу измерения температуры при помощи термопар.

Измерительное устройство включается в цепь термопары по схеме рис. 1,б. При измерении температуры с помощью термопар нередко возникают искажения, источниками которых являются: электропроводность изоляции термоэлектродов; механические напряжения в термоэлектродах; внешнее давление.

Рассмотрим устройство этих факторов.

Электропроводность изоляции термопар. Термоэлектроды изолируют друг от друга бусами из огнеупорной керамики, которые быстро уменьшают свое удельное сопротивление по мере увеличения температуры, в результате чего снижаются изоляционные свойства арматуры и возникает утечка токов между электродами. Кроме того, при высоких давлениях и температурах в газовой среде происходит ионизация газа в зазорах между термоэлектродом термопары и бусами, вследствие чего сопротивление изоляции снижается еще больше.

Механические напряжения в термоэлектродах. При изготовлении и монтаже термопар в термоэлектродах неизбежно возникают механические напряжения, вызванные их изгибом, скручиванием, растяжением, т.е. в металле происходят обратимые изменения его термоэлектрических свойств. Ликвидировать механические напряжения можно путем отжига металла.

Внешнее давление. Различные термоэлектроды по-разному реагируют на изменения внешнего давления. Значения термоЭДС могут различаться как по величине, так и по знаку.

Успешное проведение эксперимента измерения во многом зависит от правильного выбора материала термоэлектродов и их диаметра. При этом должны быть учтены уровень измеряемой температуры, точность измерения, инерционность датчика, длительность эксплуатации, механическая прочность, теплопроводность электродов и ряд других факторов. При длительной эксплуатации лучше сохраняют свои свойства электроды из проводов диаметром более 0,5 мм. Подобные рекомендации по выбору диаметров электродов термопар при различных условиях эксплуатации приведены в монографии /2/.

## ОПИСАНИЕ РАБОТЫ И ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЕ

Существует много способов изготовления термопар. Пайка оловянно-свинцовыми и жесткими медно-серебряно-цинковыми припоями позволяет повысить температуру горячего спая до  $700^{\circ}\text{C}$ . Верхний предел рабочего диапазона температур какой-либо термопары, изготовленной путем сварки, определяется температурой плавления ее термоэлектродов. Применяется газовая сварка, электросварка в дуге между двумя электродами и на угольном или графитовом электроде, сварка в ваннах с электролитом, с помощью сварочных машин и в оптическом изображении вольтовой дуги. Газовая сварка и электросварка в дуге между электродами по существу не отличаются друг от друга. Их общий недостаток: науглероживание электродов, вызывающее неоднородность, особенно при последующем измерении термопарой высоких температур.

Для уменьшения этого дефекта при газовой сварке применяют водородно-кислородное пламя, при электросварке в дуге вдувают инертный газ (аргон) с небольшими примесями кислорода для поддержания устойчивого горения дуги. Сварка в оптическом изображении вольтовой дуги или солнца может производиться в полностью инертной атмосфере, что позволяет получить самые чистые спаи.

В лабораторной практике распространены электросварка на одном угольном или графитовом электроде, сварка в жидких ваннах с электролитом и с помощью сварочных машин. Эти способы используются и в этой работе. На их описании мы остановимся поподробнее.

Электросварка на одном графитовом электроде. В качестве источника регулируемого напряжения в этом способе сварки обычно используется лабораторный автотрансформатор типа ЛАТР-1 с максимальным рабочим током 9 А. К одной клемме выходной обмотки крепится держатель с графитовым электродом, второй конец обмотки соединен с пинцетом, помещенным для изоляции в резиновую или хлорвиниловую трубку. Перед сваркой концы электродов защищаются и скручиваются. Защищенный участок термоэлектродов вблизи спая должен быть как можно короче. Конец скрутки обрезают ножницами или кусачками и захватывают пинцетом так, чтобы скрутка выступала на 20–40 диаметров проволоки. С помощью изолированного пинцета конец скрутки плавным движением подносится к графитовому электроду до возникновения дуги и после сварки резким движением отводится в сторону.

В момент сварки защитное стекло следует располагать перед угольным электродом.

Вследствие окисления спай получается темным. Величины напряжения и время сварки подбираются экспериментально. Если скрутка обгорает, отделяясь от графитового электрода с образованием большого шарика, то напряжение нужно уменьшить. При недостаточном напряжении дуга горит вяло и шарика не образуется.

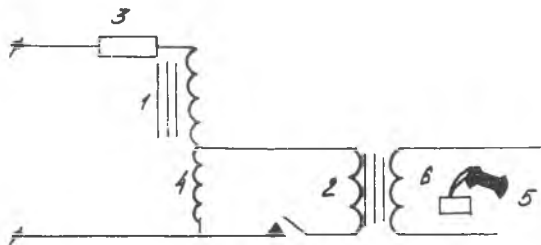
Первую сварку рекомендуется проводить при напряжении 10 В. Для сварки термопар диаметром меньше 0,4 мм можно пользоваться автотрансформатором с силой до 2 А. Обычно сила тока во время сварки значительно превышает эту величину. Но так как процесс сварки кратковременный, это увеличение тока считается допустимым. На трансформаторе с рабочим током до 9 А можно сваривать термоэлектроды до 1,5 мм.

Сварка в жидкой ванне с электродом. При этом способе графитовый электрод заменяют ванночкой, сделанной из изоляционного материала и наполненной электролитом. В качестве электролита рекомендуется применять спирты (обычно этиловый), растворы аммиака и нашатыря (хлористый аммоний). Считается, что любой хорошо проводящий электролит должен дать хорошие результаты. В данной работе ванночка наполнена насыщенным раствором поваренной соли. На дно ванночки укладывается медная или латунная шина, присоединенная к одному из выводов автотрансформатора. Подготовка электродов к сварке такая, как и при электросварке с одним угольным электродом. Сам процесс сварки происходит в момент касания концом скрутки, захваченным пинцетом, электролита. Этот вид сварки позволяет получать термолары с очень короткими участками нарушенной изоляции возле спая, если к выводу автотрансформатора подключить не пинцет, а свободный конец свариваемого электрода. При этом способе изоляция нарушается лишь на расстоянии 3–5 мм от шарика спая. Режим сварки подбирается экспериментально, первая сварка проводится при напряжении 70 В.

Сварочная машина. Существует несколько вариантов сварочных машин. Рассмотрим простейшую электрическую схему сварочной машины (рис. 2).

Схема включает в себя лабораторный автотрансформатор (1), понижающий силовой трансформатор (2), предохранитель (3), педаль (4), стол (5), клюв (6). Для сварки необходимо подать напряжение на выходные зажимы автотрансформатора. После этого положить свариваемые детали на стол и с усилием прижать их клювом в месте сварки, предварительно детали должны быть зачищены. Сварка происходит в момент нажима на педаль, замыкающий входную обмотку трансформатора, в ре-

зультате чего через место сварки протекает ток в несколько десятков ампер. Время сварки равно времени нажима на педаль, которое подбирается экспериментально. Необходимый режим сварки устанавливается также путем регулирования выходного напряжения на автотрансформаторе  $U = 25$  В.



Р и с. 2. Электрическая схема сварочной машины

С помощью сварочной машины можно сваривать проволоки диаметром 0,05...1 мм, приваривать их к металлическим поверхностям. Так как время сварки очень мало, то зона прогрева немногим превышает диаметр проводника.

Защитные оболочки и изоляция. Для правильного составления электрической цепи электроды должны быть изолированы друг от друга и от внешних электрических влияний. При низких температурах (100-120°C) применяют хлопчатобумажную и шелковую оплетку, трубочки из различных пластмасс (хлорвиниловые, фторопластовые). Покртия лаковыми эмалями хорошо сохраняют механические и изоляционные свойства до температуры 200°C. При более высоких температурах применяют оплетку из стекловолокна и лаки на кремнийорганической основе (до 500°C). Все эластичные изоляции в большей или меньшей степени газопроницаемы.

При измерении высоких температур в качестве изоляции (арматуры) применяют хрупкие материалы. Конструктивно они выполняются в виде трубок с одним и более каналами и бус различных размеров из жаропрочных материалов. При высоких температурах агрессивность среды значительно возрастает и для многих термоэлементов становятся опасными такие элементы, как водород, сера, углерод и др. Возникает необходимость не только изолировать термоэлектроды друг от друга, но и герметизировать их. При высоких температурах все изоляторы становятся электропроводными. Кроме того, в вакууме при высоких тем-

пературах на открытые участки термоэлектродов может происходить напыление других металлов, что приведет либо к изменению термоЭДС, либо к замыканию термопары. Для их защиты в этом случае применяются чехлы из нержавеющей стали при работе в электрических полях. Заземление металлического чехла позволяет резко уменьшить уровень помех при измерении.

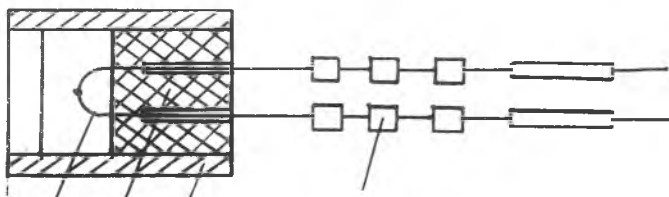
#### ЗАДАНИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Сварить 4 термопары с длиной электродов 300 мм:

- из меди и константана диаметром 0,2 мм в шелковой оплетке;
- из нихрома и константана  $\varnothing$  0,2 мм без изоляции;
- из хромеля и алюмеля  $\varnothing$  0,3 мм без изоляции;
- из хромеля и копели  $\varnothing$  0,5 мм в изоляции.

Первую термопару сварить в ванне с электролитом, а три другие — на угольных электродах.

2. Термопару хромель-алюмель  $\varnothing$  0,3 мм армировать керамической трубкой (двухканальной), металлическим защитным чехлом, бусами, хлорвиниловой трубкой, как показано на рис. 3.



Р и с. 3. Заделка термопар

3. Изготовленные термопары показать преподавателю.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое термопара?
2. Что такое спай термопары?
3. Как поддерживать постоянной температуру нерабочего спая?



4. Что является источниками искажений при изготовлении и работе термопар? Их характеристика.

5. Как диаметр термопары влияет на стабильность ее работы?

6. Методы изготовления термопар?

7. Какие защитные оболочки применяют при изготовлении термопары, работающей при высоких температурах и при низких?

8. Какое явление наблюдается при работе термопары в вакууме с высокой температурой?

9. Для чего необходимо заземлять металлический чехол?

#### Б и б л и о г р а ф и ч е с к и й   с п и с о к

1. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Тепловые и температурные изменения. - Киев, 1965.

2. Гордов А.Н. Основы пирометрии. - М.: Металлургия, 1964.

#### М О Н Т А Ж   Т Е Р М О П А Р

Ц е л ь   р а б о т ы - ознакомление с техникой монтажа и ввода термопар, расчет погрешностей измерения температур при различных способах монтажа датчиков.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Термопара является контактным методом измерения температуры, который отличается простотой и широко используется в промышленности и научных исследованиях. Однако любой контактный измеритель при определении температуры поверхности нарушает первоначальное распределение температур в исследуемом объеме, поэтому измеренная температура всегда будет отличаться от истинной температуры поверхности. Погрешность измерения температуры, вносимая термопарой, зависит от многих факторов:

искажения теплового потока при нарушении однородности исследуемого участка объекта;

оттока тепла по термопаре, т.е. от правильности монтажа термопары.



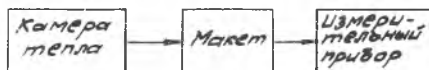
Р и с. 4. Монтаж термопары на поверхности пластины

Существует основное правило монтажа: токопроводящие концы термопары должны монтироваться по изо-термическим линиям (поверхностям) объекта (рис. 4).

В условиях нестационарного теплового режима появляются дополнительные ошибки, связанные с тепловой инерцией термопары.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на макете, на котором производится монтаж термопар. Соединение макета с измерительными приборами показано на рис. 5.



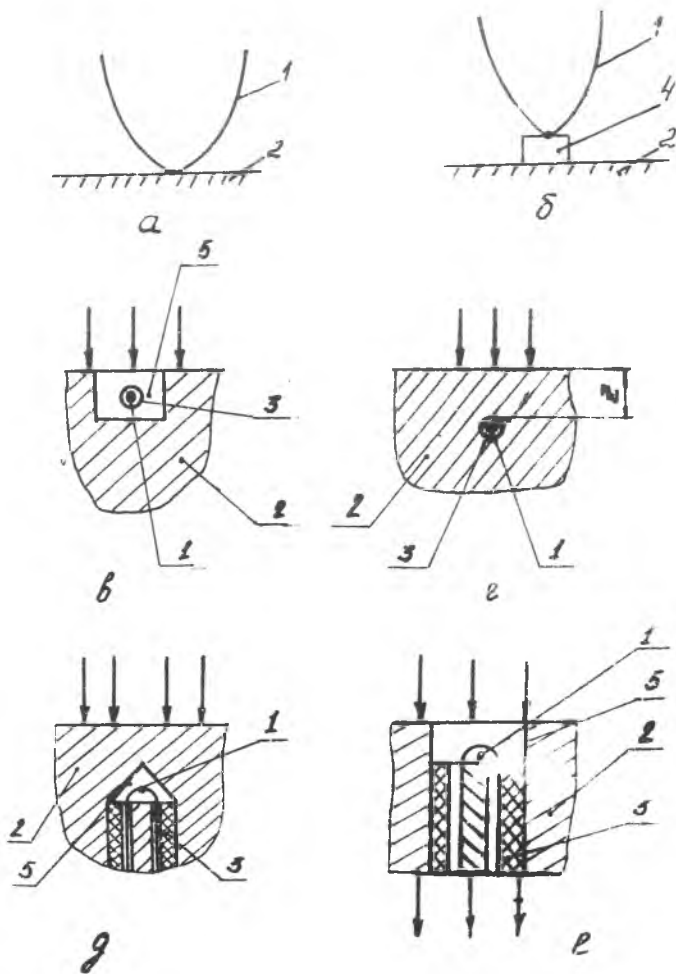
Р и с. 5. Блок-схема измерений

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. В соответствии с блок-схемой измерений (см. рис. 5) подключить к исследуемому макету приборы; включить приборы.
2. Снять зависимость изменения температуры макета от времени для случаев монтажа термопар, изображенных на рис. 6.
3. Построить графики этих зависимостей.
4. Рассчитать погрешность измерений температуры поверхности по методике, изложенной ниже.

При измерении температуры поверхности можно различить несколько вариантов монтажа термопар (см. рис. 6). Температуры поверхности и среды, как правило, различны, и в зависимости от знака этой разности происходит нежелательный приток (или отвод) тепла по термопаре к месту измерения.

Рассмотрим соотношения для расчета погрешностей измерения по-



Р и с. 6. Расположение термопар при измерении температуры: а - на поверхности тела; б - через диск; в - в пазе с замазкой и изоляцией на поверхности тела; д, е - выход термопары из глубины поверхности; 1 - термопара; 2 - поверхность тела; 3 - изоляция; 4 - диск; 5 - замазка

верхностных температур по приведенным на рис. 6 схемам. Соотношения для случаев, изображенных на рис. 6,а - 6,е следующие.

В простейшем случае измеритель поверхности температуры можно уподобить длинному стержню (проволоке). Дифференциальное уравнение распределения температур в стержне имеет вид

$$\frac{\partial^2 T(x)}{\partial x^2} = \nu^2 [T(x) - t], \quad (1)$$

где 
$$\nu^2 = \frac{\alpha \rho}{\lambda \sigma}, \quad (2)$$

$T(x)$  - функция распределения температуры по длине стержня;

$\alpha$  - коэффициент теплообмена;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала термомпары;

$\rho$  и  $\sigma$  - периметр и поперечное сечение стержня.

Если  $\alpha$  и  $\lambda$  постоянны и не зависят от температуры, то при условиях  $T(\infty) = t$ ;  $T(0) = T_0$  решение уравнения (1) примет вид

$$T(x) - t = (T_0 - t) e^{-\nu x}. \quad (3)$$

Общий тепловой поток  $Q_0$ , передаваемый через площадку соприкосновения  $\sigma$  от поверхности  $t < T_0$ , будет

$$Q_0 = -\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0}, \quad (4)$$

$$\sigma = \Lambda (T_0 - t). \quad (5)$$

Полная тепловая проводимость термомпары

$$\Lambda = \lambda \nu \sigma = \sqrt{\alpha \rho \sigma \lambda}. \quad (6)$$

Для цилиндрического стержня радиуса  $R$

$$\Lambda = \pi R \sqrt{2 \alpha \lambda R}. \quad (7)$$

Удельный тепловой поток в термомпару через поверхность контакта

$$q = \frac{Q_0}{\sigma} = \frac{\Lambda}{\sigma} (T_0 - t), \quad (8)$$

где  $T_3$  - измеренная температура.

Уравнение удельного теплового потока через поверхности контактов  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  термопары примет вид

$$q = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\sigma_1 + \sigma_2} (T_3 - t). \quad (9)$$

Коэффициент теплообмена термоэлектродов определяется формулой

$$\alpha = A_1 \left( \frac{\Delta t}{d^5} \right)^{1/6}. \quad (10)$$

Значение коэффициента  $A_1$  в зависимости от температуры

$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$  берется из таблицы.

Среда	Значение $A_1$ при температуре $t_m$ , °C						
	0	20	40	60	80	100	120
Воздух	0,291	0,295	0,300	0,306	0,310	0,315	0,32
Вода	9,35	13,1	15,7	17,6	19,0	20,0	-

Тогда общий тепловой поток с учетом коэффициента конвективно-го теплообмена определится по формуле

$$Q_0 = \gamma_K \lambda (T_3 - t), \quad (11)$$

где  $\gamma_K$  - множитель, равный

$$\gamma_K = \sqrt{\frac{2}{n+2}} \approx \sqrt{1 - \frac{1}{4}n}, \quad (12)$$

где  $n$  - показатель степени критериального уравнения вида

$$Nu = C(Gz Pr)_m^n,$$

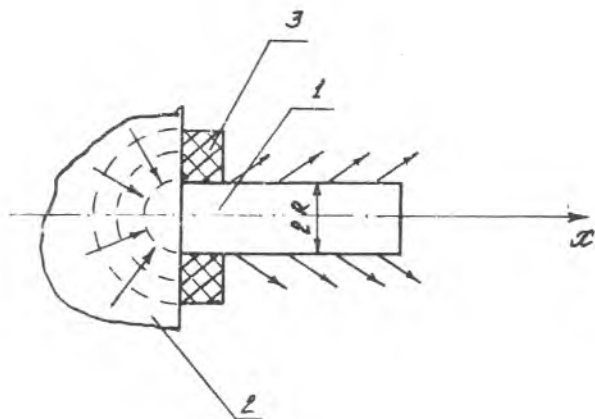
в нашем случае  $n = 1/8$ . Множитель  $\gamma_K$  учитывает зависимость коэффициента теплообмена измерителя (термопары) и равен для законов:

$$n = 1/8, \quad \gamma_K = 0,97;$$

$$n = 1/4, \quad \gamma_K = 0,94;$$

$$n = 1/3, \quad \gamma_K = 0,93.$$

Лучистая составляющая теплопередачи невелика и ею можно пренебречь.



Р и с. 7. Измерение температуры с помощью термопары на поверхности тела: 1 - измеритель (термопара); 2 - исследуемое тело; 3 - изоляция; - - - изотермические поверхности,  $\rightarrow$  - направление теплового потока

Погрешность измерения температуры выражается формулой

$$\Delta T = T_0 - T_3 = \frac{2}{1+2} (T_0 - t) = 2(T_3 - t), \quad (13)$$

где  $T_3$  - измеренная температура;

$T_0$  - истинная температура.

Коэффициент

$$\lambda = \frac{\Lambda}{\Lambda_0}, \quad (14)$$

где  $\Lambda_0$  - полная тепловая проводимость полупространства радиуса  $R$  (рис. 7),

$$\Lambda_0 = \frac{3\pi^2}{8} \lambda_0 R. \quad (15)$$

Для длинного стержня (проволоки)

$$\lambda = \frac{8}{3\pi} \frac{\sqrt{\alpha \lambda d}}{\lambda_0}, \quad (16)$$

где  $\lambda$  и  $\lambda_0$  - теплопроводности измерителя и материала соответственно.

Если в качестве измерителя не проволока, а термопара, то

$$\varrho = \frac{8\sqrt{\alpha d}}{3\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{\lambda_1 + \lambda_2}}{\lambda_0}, \quad (17)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  - коэффициенты теплопроводности спаев термопары;  
 $\lambda_0$  - теплопроводность исследуемого тела;  
 $d$  - диаметр термопары.

Таким образом, чтобы  $\Delta T = T_0 - T_3 = \varrho(T_3 - t)$ , определяем коэффициент  $\varrho$ , коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  по формулам (17) и (10).

Соотношение для расчета погрешностей измерения поверхностных температур дается для случая, изображенного на рис. 6, г, т.е. дается приближенный расчет погрешности измерения температуры стенки толщиной  $L$ . На верхнюю поверхность стенки и термопары подается постоянный тепловой поток плотностью  $q$ , противоположная сторона стенки находится в теплообмене со средой, имеющей температуру  $t$ .

Пусть передача тепла между стенкой и боковой поверхностью термоприемника прямо пропорциональна разности температур, причем коэффициент теплопередачи между термопарой и стенкой  $\lambda_3$  постоянен по длине  $L$ . Термопарой является сама стенка и электрод с соответствующими толщиной и диаметром. Распределение температур  $T(x)$  по толщине стенки остается тем же, что и до монтажа термоприемника. Зазор между электродом и пластиной замазан изоляционной пастой.

Погрешность измерения возникает за счет разности в коэффициентах теплопроводности стенки  $\lambda$  и термоприемника  $\lambda_3$ . Тогда передача тепла между ними определяется выражением

$$\frac{T_0 - T_3}{T_0 - T_K} = \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_3}\right) f(\mu, \xi), \quad (18)$$

где  $T_0$  и  $T_3$  - истинная и измеренная температура поверхности;  
 $T_K$  - температура внутренней поверхности стенки;  
 $f(\mu, \xi)$  - множитель, определяющий влияние передачи тепла между стенкой и термоприемником.

$$f(\mu, \xi) = \frac{ch\mu - 1 + \xi \frac{sh\mu}{\mu}}{\xi(ch\mu + \mu sh\mu)}; \quad (19)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{\lambda_3 \rho_2}{\lambda_0 \sigma_2}} L; \quad \xi = \frac{\alpha L}{\lambda_0},$$

где  $P_2 = 2\pi R$ ;  $G_2 = \pi R^2$  - периметр и площадь поперечного сечения термоприемника;

$\alpha$  - коэффициент теплообмена между внутренней поверхностью стенки и окружающей средой;

$L$  - толщина тела.

Таким образом, чтобы найти

$$\Delta T = T_0 - T_2 = \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_0}\right) f(\mu, \xi) (T_0 - T_K),$$

нужно определить

$f(\mu, \xi)$  - множитель из формулы (19);

$T_0 = q \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{L}{\lambda}\right) + t$  - температуру наружной поверхности;

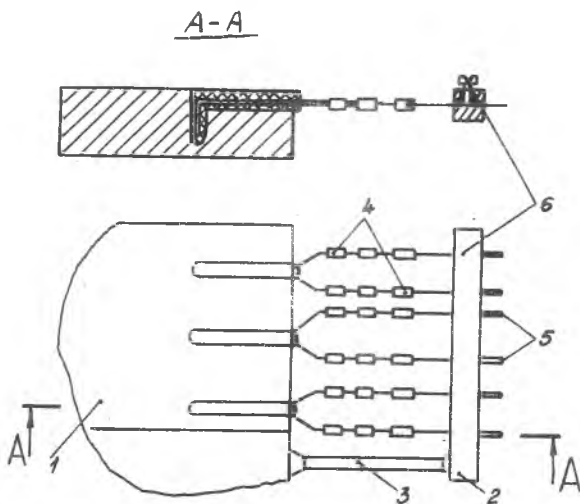
$T_0 - T_K = \frac{qL}{\lambda}$  - перепад температур по толщине.

Установка термодатчика в измеряемом объекте не ограничивается заделкой спаев. Грамотный вывод концов термопары из горячей зоны объекта вплоть до электроизмерительного прибора в значительной степени обеспечивает надежность установки и удобство работы на ней.

На рис. 8 показана схема вывода термопар, успешно применяемая в тепловых приборах. Болванка 1, в которой измеряется температура, находится в горячей зоне, а в холодной зоне установлена монтажная колонка 2. Обе детали через стойки 3 имеют жесткую механическую, но в то же время слабую тепловую связь, так что колодка 2 практически не нагревается от болванки 1. Внутри болванки тремя различными способами монтируются спаи термопар. Электрическая изоляция электродов обеспечивается двухканальными керамическими трубочками, которые либо плотно вставляются в пазы, отверстия, либо замазываются зубным цементом - фосфатом. В прогретой зоне между деталями 1 и 2 электроды изолируются керамическими бусами 4. Следует иметь в виду, что острые кромки бус могут перерезать провод при резких изгибах. Если обеспечить натяг электродов и четкую их ориентацию в нагретой зоне, то можно обойтись и без керамических бус. В этом варианте упрощается вывод термоэлектродов и не ухудшается прочность проводов.

В холодной зоне для электроизоляции и защиты электродов от обрывов удобно использовать гибкую изоляцию - хлорвиниловую трубку.





Р и с. 8. Схема вывода термопар

Применение разноцветных трубок позволяет проводить маркировку термопар. В качестве таких трубок можно использовать изоляцию одножильных проводов ПМВ диаметром 0,5 и 0,35 мм. Электроды, выходящие из болванки 1, продеваются в отверстия монтажной колодки, со стороны свободного конца на них надевается хлорвиниловая трубка 5, которая затем заземляется в колодке стопорным винтом 6. Таким образом, электрод электроизолируется от колодки 2, а трубка предохраняется от сдергивания с провода. Хлорвиниловая трубка практически исключает возможность обрыва термопары.

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Показать изготовленные термопары.
2. Измерить температуру тела согласно рис. 6.
3. Произвести расчет погрешности измерения температуры для конкретного случая по указанию преподавателя.
4. Показать схемы монтажа термопар.
5. Снять зависимости изменения температуры тела от времени.
6. Выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависят погрешности измерения температуры, вносимые термопарой?
2. Как должен осуществляться монтаж термопар на поверхности тела?
3. Нарисуйте способы монтажа термопар.
4. Какому из законов теплообмена подчиняется расчет термопары?
5. От чего зависит значение множителя  $S_k$  ?
6. Почему не учитывается лучистая составляющая при расчете?
7. За счет чего возникает погрешность измерения для случая, изображенного на рис. 6?
8. Нарисуйте схему вывода термопар.

## Библиографический список

1. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. — М.: Энергия, 1967.
2. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Тепловые и температурные измерения (справочник). — Киев, 1965.