

Изобретение относится к области измерения температуры термоэлектрическими преобразователями (термопарами) и может быть использовано для увеличения точности и срока службы термопар, находящихся в длительной эксплуатации в агрессивной среде или работающих в экстремальных условиях.

Известен термоэлектрический способ измерения температуры, заключающийся во внесении рабочего конца термопары в среду, температуру которой измеряют, стабилизации температуры свободных концов и измерении термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС), генерируемой на свободных концах термопары (см., например, Левшина Е.С., Новицкой П.В. Электрические измерения физических величин. - Л.: Энергоатомиздат. Ленинград, отд-ние, 1983, с.259-260).

В процессе длительной эксплуатации, особенно в агрессивной среде, в результате окисления термоэлектродов, испарения металлов с электродов, диффузии компонентов сплавов через спай рабочего конца, деформации термоэлектродов и влиянии других дестабилизирующих факторов изменяется коэффициент Зеебека, определяющий чувствительность термопары к температуре. В результате этого изменяется наклон градуировочной характеристики и соответственно возникает погрешность чувствительности термопары.

Для диагностики состояния термопары используют способ по авт. св. СССР №302622, кл. G 01 K 7/02, 1971, основанный на дополнительном нагревании рабочего конца термопары периодическими импульсами тока, в промежутках между которыми проверяют наличие дополнительной термо-ЭДС. В этом способе исключается грубая погрешность измерения, в частности, от обрыва термоэлектродов термопары. Однако способ не позволяет контролировать возрастающую погрешность от постепенной деградации параметров термопары, влияющих на чувствительность, особенно в тяжелых условиях эксплуатации.

Известен также термоэлектрический способ измерения температуры по авт. св. СССР №777475, кл. G 01 K 7/02, 1980, заключающийся во внесении рабочего конца термопары в среду, температуру которой измеряют, регистрации значения измеряемой термо-ЭДС на свободных концах, нагреве рабочего конца термопары пропуском тока через термопару и определении температуры по формуле. При этом регистрируют установившееся значение термо-ЭДС и определяют отношение зарегистрированных значений термо-ЭДС, а температуру T_x определяют по формуле:

$$T_x = \frac{\pi I_0}{\lambda(K-1)}.$$

где π - коэффициент Пельтье рабочего конца термопары;

I_0 - ток, пропускаемый через рабочий конец термопары;

$K = E_2/E_1$ - отношение значений зарегистрированных термо-ЭДС E_1 и E_2 до и после нагрева;

λ - теплопроводность рабочего конца термопары с учетом теплоотдачи в контролируемую среду.

Как видно из приведенной формулы, на точность измерения температуры этим способом непосредственно не влияет коэффициент Зеебека. Однако входящий в формулу коэффициент Пельтье π функционально связан с функциональными коэффициентами Зеебека ϵ соотношением $\pi = ET_x$.

Таким образом, известный способ не исключает полностью влияние нестабильности коэффициента Зеебека, а, следовательно, и непостоянство чувствительности термопары на точность измерения температуры.

Кроме того, входящая в расчетную формулу теплопроводность рабочего конца в значительной мере зависит от теплофизических свойств контролируемой среды. При изменении этих свойств в процессе длительной эксплуатации также возникает дополнительная погрешность из-за изменений параметра λ , которую трудно скомпенсировать или учесть. Не учтено в известном способе и выделение теплоты Джоуля в термоэлектродах термопары, что нарушает линейную зависимость между нагревающим током и дополнительной температурой нагрева.

Регистрация установившейся температуры после дополнительного нагрева рабочих концов термопары связана с большими затратами времени оператора из-за ее тепловой инерционности. Длительное охлаждение рабочих концов термопары после выключения нагревающего тока для подготовки ее к следующему измерению еще в большей мере увеличивает суммарное время измерительного цикла нагрев-охлаждение.

Дополнительный нагрев используют в термоэлектрическом устройстве для измерения температуры по авт. св. СССР №1229597, кл. G 01 K 7/02, 1984, содержащем две термопары с соединенными рабочими концами, источник тока, мультивибратор, ключи, резисторы, подключенные к свободным концам первой термопары, управляемый резистор и последовательно включенные дифференциальный усилитель, избирательный усилитель, демодулятор и интегратор, выход которого соединен со входом управляемого резистора, включенного между источником тока и свободными концами второй термопары.

Однако уравнение измерительного преобразования этого устройства также включает коэффициент Пельтье. Следовательно, влияние нестабильности коэффициента Зеебека на чувствительность термопары в устройстве с дополнительным нагревом полностью не устраняется.

Известно термоэлектрическое устройство для измерения температуры (см., например, Линевет Ф. Измерение температуры в технике. Справочник, пер. с нем., 1980, с. 193), которое содержит термопару, нормирующий усилитель, аналого-цифровой преобразователь и цифровой измерительный прибор. Недостатком таких устройств несмотря на определенные преимущества цифровых термометров по сравнению с аналоговыми является зависимость результатов измерения от степени нелинейности градуировочной характеристики, нестабильности чувствительности термопары.

Известно также термоэлектрическое устройство для измерения температуры (см. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. - М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 158, 159), содержащее термопару, рабочий конец которой помещен в контролируемую среду, свободные концы, через последовательно соединенную коробку компенсации температуры свободных концов, нормирующий усилитель и аналого-цифровой преобразователь соединены с входом микро-ЭВМ, к выходу которой

подключен цифровой индикатор.

В известном устройстве в память микро-ЭВМ заносится градуировочная характеристика термопары. При измерениях текущих значений температуры кода термо-ЭДС, получаемые посредством аналого-цифрового преобразователя, с помощью таблицы соответствия сопоставляются с кодами градуировочной характеристики. В результате линеаризуется преобразовательная характеристика термопары и тем самым обеспечивается цифровой отсчет температуры. Однако реальная нестабильность параметров термопары, прежде всего деградация коэффициента Зеебека в процессе длительной эксплуатации термопары, не позволяет только аппаратными средствами линеаризовать преобразовательную характеристику из-за возникающей нежизнелентности таблицы соответствия реальной характеристике термопары. Кроме того, изменения коэффициента Зеебека от дестабилизирующих факторов ничем не компенсируются, что вызывает большие погрешности измерения при длительной эксплуатации термопары.

В основу изобретения положена задача создания такого способа и устройства измерения температуры, в которых новое выполнение операции дополнительного нагрева, введение дополнительной операции охлаждения рабочего конца, повторение этих операций при калибровке и измерении, введение новых блоков и связей в программируемое устройство исключает влияние нестабильности и нелинейности градуировочной характеристики термопары на результат измерения температуры в процессе длительной эксплуатации. Благодаря этому повышается точность и увеличивается срок службы термопары.

Поставленная задача решается тем, что в термоэлектрический способ измерения температуры, заключающийся во внесении рабочего конца термопары в среду температуру которой измеряют, регистрации значений измеряемой термо-ЭДС на свободных концах, нагреве рабочего конца термопары пропусканием тока через термопару и определении температуры по формуле, согласно изобретения, после регистрации термо-ЭДС на свободных концах термопары нагрев рабочего конца термопары пропусканием тока через термопару осуществляют в течение времени, которое выбирают в интервале 0,1...0,2 тепловой постоянной времени термопары, после завершения нагрева регистрируют текущее значение термо-ЭДС на свободных концах, затем охлаждают рабочий конец изменением направления протекания тока через термопару до достижения первоначального значения термо-ЭДС, после чего охлаждают рабочий конец термопары в течение времени равного времени нагрева, после завершения охлаждения регистрируют текущее значение термо-ЭДС на свободных концах, вновь изменяют направление тока через термопару и нагревают рабочий конец до достижения первоначальной температуры, а температуру T_x определяют за время достижения рабочим концом термопары первоначальной температуры по формуле:

$$T_x = \frac{(N_2^I - N_4^I)(N_1^{II} + N_0)^2}{(N_2^{II} - N_4^{II})(N_1^I + N_0)^2} T_k,$$

где T_k - температура калибровки, которую устанавливают на объекте контроля в зоне рабочего конца перед началом эксплуатации термопары;

N_1^{II} и N_1^I - коды термо-ЭДС на свободных концах термопары, полученные в процессе измерения и калибровки;

N_2^{II} и N_2^I - коды термо-ЭДС на свободных концах дополнительно нагретой током термопары в процессе измерения и калибровки;

N_4^{II} и N_4^I - коды термо-ЭДС на свободных концах дополнительно охлажденной током термопары в процессе измерения и калибровки;

N_0 - код термо-ЭДС свободных концов термопары, полученный в процессе калибровки.

Поставленная задача решается также тем, что термоэлектрическое устройство для измерения температуры, содержащее термопару, рабочий конец которого помещен в контролируемую среду, ее свободные концы через последовательно соединенные коробку компенсации температуры свободных концов, нормирующий усилитель и аналого-цифровой преобразователь соединены с входом микро-ЭВМ, к выходу которой подключен цифровой индикатор, согласно изобретению снабжен второй термопарой, стробирующим ключом, двухполюсным переключателем и цифро-аналоговым преобразователем, кодовый вход которого подключен ко второму выходу микро-ЭВМ, его токовые выходы через двухполюсный переключатель соединены со свободными концами второй термопары, рабочий конец которой соединен с рабочим концом второй термопары, третий выход микро-ЭВМ соединен с управляющим входом двухполюсного переключателя, а четвертый выход микро-ЭВМ соединен с управляющим входом стробирующего ключа, который включен между коробкой компенсации температуры свободных концов термопары и входом нормирующего усилителя.

Дополнительный нагрев и охлаждение термопары в течение небольшого времени по сравнению с ее тепловой постоянной времени электрическим током, направление которого периодически изменяется на противоположное, исключает практически влияние контролируемой среды на процесс нагрев-охлаждение термопары и значительно сокращает время измерения. Обработка результатов измерений по предложенной формуле исключает влияние непостоянства коэффициентов Зеебека и Пельтье на результат измерения, которая возникает из-за зависимости этих коэффициентов от температуры и вследствие деградации этих параметров в процессе длительной эксплуатации, особенно в агрессивной среде.

Введение в структуру микропроцессорного устройства дополнительно стробирующего ключа, двухполюсного переключателя и цифро-аналогового преобразователя позволило обеспечить программное измерение и регистрацию кодов термо-ЭДС на свободных концах термопары в начале и в конце временных интервалов нагрева и охлаждения, исключить влияние тока нагрева термопары и ее теплофизических параметров на регистрируемую термо-ЭДС. Запоминание и сравнение кодов термо-ЭДС в микро-ЭВМ в режимах калибровки и измерения обеспечивает вычисление измеряемой температуры без влияния нелинейности и нестабильности градуировочной характеристики термопары.

На фиг.1 изображена функциональная схема цифрового термоэлектрического устройства для измерения температуры; на фиг.2 - график изменения кода термо-ЭДС рабочего конца термопары в процессе

калибровки; на фиг.3 - блок-схема алгоритма изменения температуры контролируемой среды.

Устройство содержит две термопары 1 и 2, соединенные рабочими концами, колодки свободных концов 3 и 4, коробку 5 компенсации температуры свободных концов термопары 1, стробирующий ключ 6, нормирующий усилитель 7, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 8, микро-ЭВМ 9, цифровой индикатор 10, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) 11 и двухполюсный переключатель 12.

Свободные концы термопары 1, расположенные на колодке 4, соединены удлинительными термоэлектродами с коробкой 5 компенсации температуры свободных концов. Стробирующий ключ 6 соединяет выход коробки 5 с входом нормирующего усилителя 7, выход которого через аналого-цифровой преобразователь 8 соединен со входом микро-ЭВМ 9. Первый выход микро-ЭВМ 9 соединен с цифровым индикатором 10, второй - с кодовым входом цифро-аналогового преобразователя 11, третий - с управляющим входом переключателя 12 и четвертый - с управляющим входом стробирующего ключа 6. Входы переключателя 12 соединены с симметричными токовыми выходами цифро-аналогового преобразователя 11, а его выходы соединены через удлинительные термоэлектроды со свободными концами термопары 2, размещенными на колодке 3.

Устройство работает по программе, записанной в ПЗУ микро-ЭВМ 9, в соответствии с блок-схемой алгоритма фиг.3.

Термоэлектрический способ измерения температуры осуществляется следующим образом.

Рабочий конец термопары 1 (фиг. 1) помещают в исследуемую среду, в которой измеряемая температура изменяется в диапазоне $T_{\min} \dots T_{\max}$. Свободные концы термопары размещают в среде с известной и стабильной температурой, например, в термостате или соединяют с компенсационной коробкой 5. Преобразуют измеряемую термо-ЭДС на свободных концах термопары 1 в цифровой код с помощью нормирующего усилителя 7 и аналого-цифрового преобразователя 8

$$N_1 = S(\varepsilon_x T_x - \varepsilon_0 T_0), \quad (1)$$

где S - крутизна аналого-цифрового преобразования термо-ЭДС в код;

ε_x - текущее значение коэффициента Зеебека рабочих концов, соответствующее температуре T_x ;

ε_0 - коэффициент Зеебека свободных концов термопары, соответствующий температуре T_0 .

В процессе пуско-наладочных работ, когда на контролируемый объект вмонтирована новая термопара 1 с известной градуировочной характеристикой, производят ее калибровку. Для этого температуру калибровки выбирают из соотношения

$$T_k = (T_{\max} + T_{\min})/2. \quad (2)$$

Преобразуют измеряемую термо-ЭДС на свободных концах термопары 1, которая соответствует калибровочной температуре T_k , в цифровой код

$$N_1' = S(\varepsilon_n T_k - \varepsilon_0 T_0), \quad (3)$$

где ε_n - начальное значение коэффициента Зеебека, которое по градуировочной характеристике термопары соответствует температуре T_k .

Регистрируют полученное значение кода N_1' в микро-ЭВМ 9.

Из соотношения (3) с учетом зарегистрированного кода N_1' и известных параметров ε_n , S и T_k определяют код термо-ЭДС свободных концов термопары 1

$$N_0 = S\varepsilon_0 T_0 = S\varepsilon_n T_k - N_1'. \quad (4)$$

Так как температура T_0 стабильна в процессе эксплуатации термопары, то ε_0 не изменяется. Поэтому в дальнейшем считаем, что код свободных концов $N_0 = \text{const}$.

Далее пропускают через рабочий конец температуры 1 ток I_0 , поступающий по термопаре 2 от источника тока 11 через переключатель 12 в направлении, которое вызывает дополнительный нагрев этого конца за счет выделяемой теплоты Пельтье и теплоты Джоуля на 5... 10% от температуры T_k . Из-за тепловой инерции термопары температура рабочего конца возрастает постепенно по экспоненциальному закону (фиг.2).

$$T_k(t_1) = T_k + [1 - \exp(-t_1/\tau)] T_y, \quad (5)$$

где t_1 - время дополнительного нагрева;

τ - тепловая постоянная времени термопары;

ΔT_y - установившийся нагрев рабочего конца термопары.

На начальном участке кривой разогрева (5) термопары происходит адиабатический нагрев его рабочего конца. В результате этого температура рабочего конца возрастает линейно в соответствии с зависимостью

$$T_k(t_2) = T_k + \frac{(\Pi' I_0 + 0.5 R I_0^2) t_2}{c m}, \quad (6)$$

где Π' - коэффициент Пельтье рабочего конца термопары, соответствующий температуре T_k ;

R - сопротивление термоэлектродов и рабочего конца термопары;

c - удельная усредненная теплоемкость рабочего конца;

m - масса рабочего конца;

t_2 - время адиабатического нагрева рабочего конца.

Коэффициент 0,5 в выражении (6) учитывает только ту часть теплоты Джоуля, которая поступает к рабочему концу.

В промышленных термопарах сопротивление термоэлектродов и рабочего конца мало, поэтому теплота Пельтье преобладает над теплотой Джоуля.

Время нагрева рабочего конца t_2 должно быть меньше тепловой постоянной времени термопары, когда на процесс нагрева мало влияет теплоотдача поверхности рабочего конца в контролируемую среду и теплопроводность термоэлектродов. Поэтому время нагрева выбирают из условия

$$t_2 = (0,1 \dots 0,2) \tau. \quad (7)$$

При этом погрешность от замены реальной экспоненциальной зависимости (5) линейной зависимостью (6) при времени нагрева (7) не превышает 0,5%.

Процесс нагрева рабочего конца прерывают при $t_2 = \Pi\tau$, где $0,1 < \Pi < 0,2$ и регистрируют в этот момент с помощью ключа 6 значения кода от текущей температуры T_k^{II} в микро-ЭВМ 9 (фиг.1)

$$N_2^I = S[\varepsilon_n(T_k + \frac{\Pi^I I_0 + 0,5 R I_0^2}{c m} t_2) - \varepsilon_0 T_0], \quad (8)$$

Учитывая, что коэффициент Пельтье связан с коэффициентом Зеебека соотношением

$$\Pi^I = \varepsilon_n T_k, \quad (9)$$

получаем код термо-ЭДС дополнительно нагретой термопары (рис.2)

$$N_2^I = S[\varepsilon_n(T_k + \frac{\varepsilon_n T_k I_0 + 0,5 R I_0^2}{c m} t_2 - \varepsilon_0 T_0)], \quad (10)$$

Регистрирует в микро-ЭВМ 9 полученное значение кода N_2 .

Затем изменяют направление протекания тока через рабочий конец термопары переключателем 12 и адиабатически охлаждают его в течение времени t_3 , которая определяется достижением первоначального значения температуры T_k . В процессе охлаждения рабочего конца код термо-ЭДС термопары уменьшается в соответствии с выражением (фиг.2)

$$N_3^I = S[\varepsilon_n(T_k^I + \frac{0,5 R I_0^2 - \varepsilon_n T_k I_0}{c m} t_3) - \varepsilon_0 T_0], \quad (11)$$

где T_k^I - температура нагретого рабочего конца термопары, соответствующая коду.

При достижении первоначального кода термо-ЭДС $N_3^I = N_1^I$ (фиг.2) фиксируют время t_3 и устанавливают отсчет времени охлаждения t_4 , которое выбирают равным времени нагрева t_2 . Регистрируют в микро-ЭВМ 9 замыканием ключа 6 текущее значение кода термо-ЭДС по истечению времени $t_4 = t_2$

$$N_4^I = S[\varepsilon_n(T_k + \frac{0,5 R I_0^2 - \varepsilon_n T_k I_0}{c m} t_2) - \varepsilon_0 T_0], \quad (12)$$

После регистрации N_4^I вновь изменяют переключателем 12 (фиг.1) направление протекания тока через рабочий конец термопары 1 и нагревают его в течение времени t_5 . Время нагрева t_5 определяют по достижению первоначального кода термо-ЭДС $N_5^I = N_1^I$ (фиг.2). Задают и запоминают время нагрева t_2 , t_5 и время охлаждения t_3 и t_4 в микро-ЭВМ 9 (фиг.1).

На этом процесс калибровки термопары на объекте контроля заканчивается.

Процесс измерения текущей температуры T_x на работающем объекте начинается с определения кода термо-ЭДС на свободных концах термопары 1, рабочий конец которой находится в тепловом контакте с контролируемой средой. В процессе эксплуатации термопары под воздействием дестабилизирующих факторов и текущих изменений температуры возникают неконтролируемые отклонения коэффициента Зеебека рабочего конца термопары относительно начального значения ε_n , соответствующего калибровочной температуре. Поэтому при измерении температуры T_x в контролируемой среде объекта получают код термо-ЭДС с новым значением коэффициента Зеебека

$$N_1^{II} = S[\varepsilon_n + \Delta\varepsilon_x] T_x - \varepsilon_0 T_0], \quad (13)$$

где $\Delta\varepsilon_x$ - изменение коэффициента Зеебека рабочего конца в результате воздействия дестабилизирующих факторов и отличия измеряемой температуры T_x от калибровочной T_k .

Регистрируют полученное значение кода N_1^{II} в микро-ЭВМ 9. При этом коэффициент Пельтье (9) с учетом измерения коэффициента Зеебека и температуры T_x принимает значение

$$\Pi^{II} = (\varepsilon_n + \Delta\varepsilon_x) T_x. \quad (14)$$

Дополнительно нагревают рабочий конец термопары тем же самым током I_0 . В соответствии с выражением (8) получают код термо-ЭДС дополнительно нагретой термопары при температуре T_x

$$N_2^{II} = S[(\varepsilon_n + \Delta\varepsilon_x)(T_x + \frac{0,5 R I_0^2 + (\varepsilon_n + \Delta\varepsilon_x) I_0 T_x}{c m} t_2) - \varepsilon_0 T_0] \quad (15)$$

Регистрируют код термо-ЭДС дополнительно нагретой термопары в микро-ЭВМ 9.

Изменяют направление протекания тока через рабочий конец термопары переключателем 12 и охлаждают его в течение времени t_3 . Далее продолжают охлаждать рабочий конец термопары в течение времени t_4 . В конце временного интервала $t_4 = t_2$ регистрируют код термо-ЭДС термопары, который по аналогии с выражением (12) будет иметь вид:

$$N_4^{II} = S[(\varepsilon_n + \Delta\varepsilon_x)(T_x + \frac{0,5 R I_0^2 + (\varepsilon_n + \Delta\varepsilon_x) I_0 T_x}{c m} t_2) - \varepsilon_0 T_0] \quad (16)$$

Регистрируют полученное значение кода N_4^{II} в микро-ЭВМ 9. После этого вновь изменяют направление протекания тока через рабочий конец термопары переключателем 12 и нагревают его в течение времени t_5 до достижения первоначальной температуры T_x фиг.2. После этого термопара 1 готова к новому циклу измерения, который начинается с регистрации кода N_1^{II} , от текущего значения измеряемой температуры T_x .

Для определения температуры T_x по зарегистрированным кодам N_1^I , N_2^I и N_4^I и ранее зарегистрированным кодам N_1^{II} , N_2^{II} и N_4^{II} при калибровке проводят следующие вычисления.

Из выражений (10) и (12) определяют разность кодов

$$N_2^I - N_4^I = \frac{2 S \varepsilon_H^2 I_0 T_K}{c m} t_2. \quad (17)$$

и из выражений (15) и (16) разность кодов

$$N_2^{II} - N_4^{II} = \frac{2 S (\varepsilon_H + \Delta \varepsilon_x)^2 I_0 T_x}{c m} t_2. \quad (18)$$

Отношение разностных кодов имеет вид

$$\frac{N_2^{II} - N_4^{II}}{N_2^I - N_4^I} = \frac{\varepsilon_H^2 T_K}{(\varepsilon_H + \Delta \varepsilon_x)^2 T_x}, \quad (19)$$

откуда измеряемая температура

$$T_x = \frac{N_2^{II} - N_4^{II}}{N_2^I - N_4^I} = \frac{\varepsilon_H^2}{(\varepsilon_H + \Delta \varepsilon_x)^2} T_K. \quad (20)$$

Согласно выражению (13) коэффициент Зеебека рабочего конца термопары при измеряемой температуре T_x

$$\varepsilon_H + \Delta \varepsilon_x = \frac{N_2^{II} - N_4^{II}}{S T_x}, \quad (21)$$

а этот же коэффициент при температуре калибровки T_K из (3) равен

$$\varepsilon_H = \frac{N_2^I - N_4^I}{S T_K}. \quad (22)$$

Подставляя значения ε_H и $\varepsilon_H + \Delta \varepsilon_x$ в выражение (20), окончательно получаем

$$T_x = \frac{(N_2^{II} - N_4^{II})(N_2^I - N_4^I)^2}{(N_2^I - N_4^I)(N_2^{II} - N_4^{II})^2} T_K. \quad (23)$$

Как видно из полученного выражения (23), измеряемая температура T_x не зависит от непостоянства коэффициента Зеебека $\Delta \varepsilon_x$, теплофизических параметров рабочего конца самой термопары (c и m), а также выделения теплоты Джоуля в термопаре.

Таким образом, за счет дополнительных измерений нагретого и охлажденного рабочего конца термопары при калибровке и измерении и обработке результатов промежуточных измерений по формуле (23) исключается полностью влияние деградации коэффициента Зеебека рабочего конца в контролируемой зоне объекта, а также линеаризуется преобразовательная характеристика термопары относительно калибровочной температуры независимо от степени нелинейности градуировочной характеристики новой температуры.

Благодаря этому увеличивается срок службы термопары, который ограничивается в условиях эксплуатации допустимой погрешностью измерения от изменения чувствительности термопары и нестабильностью ее градуировочной характеристики.

По сравнению со способом-прототипом исключено непостоянство как коэффициента Зеебека так и коэффициента Пельтье. Исключено также влияние непостоянства теплофизических свойств контролируемой среды на результат измерения за счет использования начального участка кривой нагрева термопары. Повышено быстродействие измерений за счет кратковременного нагрева и принудительного охлаждения рабочего конца термопары. Это обеспечивает повышение точности и срока службы термопары при износе ее рабочего конца.

Термоэлектрическое устройство для измерения температуры фиг. 1 работает в соответствии с алгоритмом фиг.3.

На этапе пуско-наладочных работ производится калибровка устройства. В соответствии с выбранным типом термопары и ее тепловой инерционностью выбирают время нагрева t_2 из соотношения (7). По диапазону регулируемых температур объекта выбирают температуру калибровки T_K согласно формулы (2) и ток нагрева I_0 , обеспечивающий рекомендуемый перегрев относительно. В процессе калибровки по результатам измерений температуры определяют коды N_1^I , N_2^I и N_4^I . Вычисляют код N_0 по соотношению (4) и определяют экспериментально время охлаждения t_3 и время нагрева t_3 по равенству кодов в процессе охлаждения ($N_3^I = N_1^I$) и нагрева ($N_5^I = N_1^I$) термопары. В память микро-ЭВМ 9 вводят исходные данные (T_K , I_0 , t_2) и результаты калибровки (N_1^I , N_2^I , N_4^I , N_0 , t_3 и t_5).

Измерение текущих значений температуры T_x на работающем объекте осуществляется автоматически по программе, введенной в память микро-ЭВМ 9 согласно алгоритма фиг.3. Под воздействием температуры контролируемой среды T_x на свободных концах термопары 1 генерируется термо-ЭДС, пропорциональная разности температур T_x и T_0 , где T_0 - температура свободных концов термопары на колодке 4, изменения которой компенсируются колодкой 5, процесс преобразования и измерения термо-ЭДС термопары в исходном, дополнительно нагретом и охлажденном состояниях осуществляется в три такта работы микро-ЭВМ 9.

В первый такт работы микро-ЭВМ 9 ($I=1$) замыкается стробирующий ключ 6 и на вход нормирующего усилителя 7 поступает измеряемая термо-ЭДС. Выходное напряжение усилителя 7 с помощью аналого-цифрового преобразователя 8 преобразуется в цифровой код N_1^{II} , который вводится в микро-ЭВМ 9, где запоминается в оперативной памяти. Ключ 6 после этого размыкается. Далее по команде микро-ЭВМ 9 включается ЦАП 11 (цифро-аналоговый преобразователь) и на его токовых выходах кодом ЭВМ формируется постоянный ток I_0 , который через замкнутые контакты переключателя 12 и термоэлектроды термопары 2 протекает через общий рабочий конец термопар 1 и 2, вызывая его дополнительный нагрев.

Во втором такте измерения ($I = 2$) происходит замыкание стробирующего ключа 6 и преобразование термо-ЭДС подогретого рабочего конца термопары 1 с помощью блоков 7 и 8 в цифровой код N_2'' , который запоминается в оперативной памяти микро-ЭВМ 9. Стробирующий ключ 6 после этого размыкается. Далее переключатель 12 по команде микро-ЭВМ 9 переводится в противоположное положение, что приводит к изменению направления протекания тока через рабочий конец термопары 2 и принудительному охлаждению общего рабочего спая. Охлаждение рабочего конца термопары 1 происходит в течение времени $t = t_3 + t_2$, которое задается микро-ЭВМ 9.

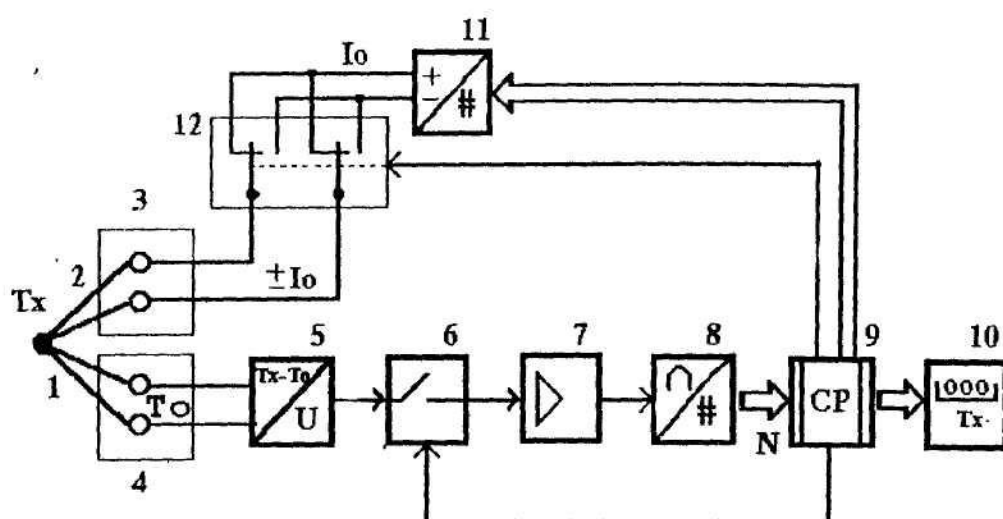
Поскольку получение кода после охлаждения на время не производится для соблюдения порядка индексации получаемых кодов значение индекса I увеличивается на единицу ($I = I + 1$).

На третьем этапе измерения ($I = 4$) замыкается стробирующий ключ 6 и осуществляется преобразование термо-ЭДС охлажденного рабочего конца термопары 1 в цифровой код N_4'' , который запоминается в микро-ЭВМ 9. Затем переключатель 12 по команде микро-ЭВМ 9 вновь переводится в исходное положение, что приводит к нагреванию рабочего конца термопары 1 в течение времени t_5 и достижению первоначальной температуры. Одновременно с этим в процессоре микро-ЭВМ 9 происходит вычисление температуры T_x по формуле (23) с учетом данных, которые хранятся в памяти ЭВМ.

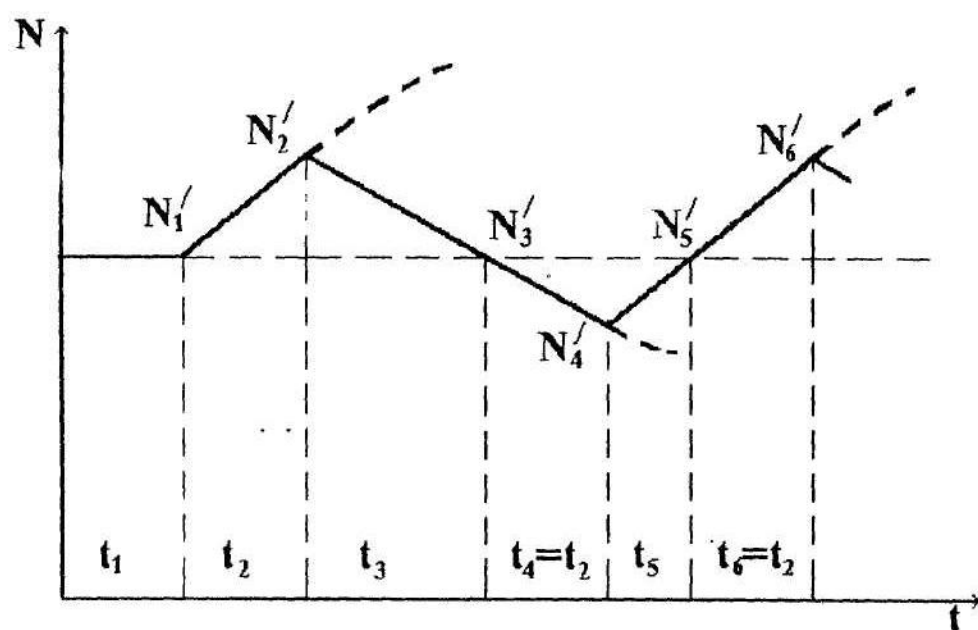
Результат измерения температуры T_x в цифровой форме выводится на цифровой индикатор 10 или используется для управления температурой объекта. По истечению времени нагрева t_5 повторяется новый цикл измерения, начиная с первого такта. В конце каждого цикла работы устройства по команде микро-ЭВМ 9 в индикаторе 10 происходит запись нового значения температуры T_x фиг.3.

Поскольку уравнение измерительного преобразования температуры 23 с компенсацией погрешности от изменений коэффициента Зеебека $\Delta \varepsilon_x$ линейно относительно T_k , то необходимость дополнительной линеаризации результатов измерений в ЭВМ с помощью таблиц соответствия отпадает. Вместо всей градуировочной характеристики термопары в память ЭВМ вводят только значение коэффициента Зеебека ε_n новой термопары, которое соответствует температуре калибровки T_k , и по введенному значению крутизны преобразования S вычисляется код N_0 по формуле (4) на этапе калибровки. После этого код N_0 вместе с кодами калибровки N_1' , N_2' и N_4' хранится в памяти ЭВМ и используется для вычисления текущих значений температуры.

Благодаря короткому принудительному нагреву и охлаждению рабочего конца термопары значительно сокращается время цикла одного измерения и повышается быстродействие термoeлектрического устройства. По сравнению с устройством-прототипом повышена точность благодаря исключению влияния нестабильности градуировочной характеристики термопары.



Фиг. 1



Фиг. 2

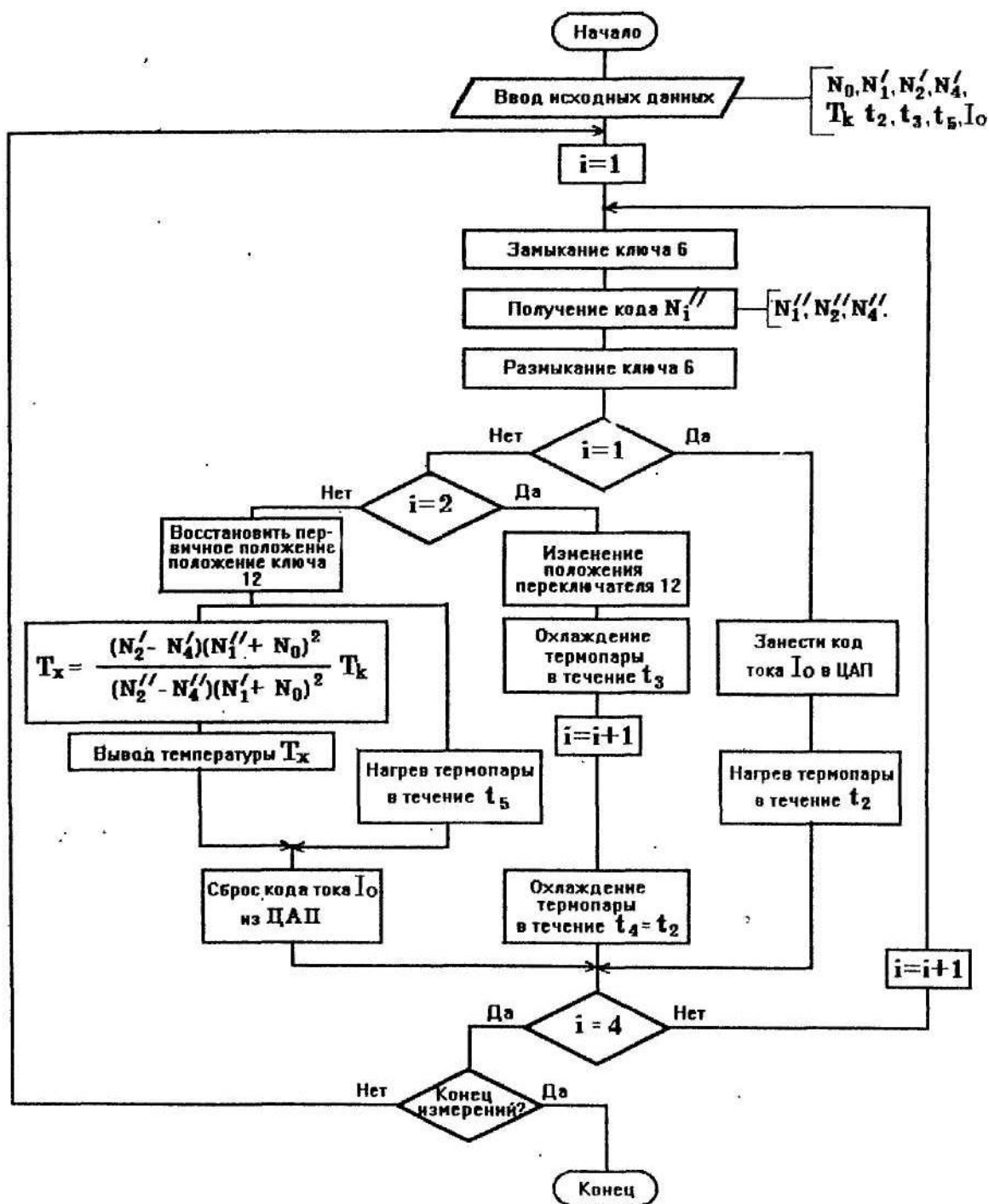


Рис.3