



УКРАЇНА

(19) UA (11) 22592 (13) A
(51) G 01 K 7/02ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДБез проведення експертизи по суті
на підставі Постанови Верховної Ради України
№ 3769-XII від 23 XII 1993 рПублікується
в редакції заявника(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КРІОГЕННОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО
ЗДІЙСНЕННЯ

1

(21) 94032301

(22) 25.03.94

(24) 17.03.98

(46) 30.06.98. Бюл. № 3

(47) 17.03.98

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Юрчик Ге-
надій Васильович, Хімічева Ганна Іванівна
(73) Державна академія легкої промисло-
вості України

(57) 1. Способ определения криогенной тем-
пературы, заключающийся в регистрации
установившегося значения термо-ЭДС термо-
пары, помещенной в исследуемую среду,
пропускании постоянного тока через термо-
пару, охлаждении спая термопары, выключе-
нии тока, пропускаемого через термопару,
регистрации каждый раз установившихся зна-
чений термо-ЭДС и определении температуры
среды, отличающийся тем, что дополни-
тельно воздействуют на термопару парамаг-
нитным парожидкостным теплоносителем,
передающим тепло от окружающей среды к
спаю термопары путем испарения жидкости
и последующей конденсации пара в обла-
сти спая, при этом на парамагнитный тепло-
носитель вначале воздействуют постоянным
магнитным полем, прерывая поток тепла к
спаю, после чего регистрируют установив-
шееся значение термо-ЭДС термопары E_1 ,
затем охлаждают спай термопары пропус-
канием через нее постоянного тока соответ-
ствующего направления, регистрируют второе
значение термо-ЭДС E_2 , далее нагревают
спай снятием воздействия магнитного поля
на парамагнитный теплоноситель, регистри-
руют третье значение термо-ЭДС E_3 , затем
выключают ток, пропускаемый через термо-
пару, регистрируют четвертое значение тер-

2

мо-ЭДС E_4 и определяют температуру среды
 T_x из следующей зависимости

$$T_x = T_0 - \frac{(E_4 - E_1) \Delta T_1}{(E_4 - E_3) - (E_1 - E_2)}$$

где T_0 — температура окружающей среды; ΔT_1 — калиброванное понижение температу-
ры спая при пропускании тока через термопару.

2 Устройство для определения криоген-
ной температуры, содержащее термопару,
свободные концы которой через усилитель
соединены со входом аналого-цифрового
преобразователя, кодовыми выходами под-
ключенного к входу вычислительно-управля-
ющего блока, выполненного на основе
микро-ЭВМ и цифрового индикатора, отли-
чающемся тем, что введены два цифро-
аналоговых преобразователя, тепловая тру-
ба, погруженная в исследуемую среду и
заполненная парамагнитным газом, элект-
ромагнит и вторая термопара, спаем соеди-
ненная со спаем первой термопары, при
этом обе термопары размещены в тепловой
трубе, общий спай термопар находится в
тепловом контакте с концом тепловой тру-
бы, погруженным в исследуемую среду, сво-
бодные концы термопар выведены из
другого конца тепловой трубы, находящего-
ся при температуре окружающей среды, и
находятся в тепловом контакте с окружаю-
щей средой, при этом электромагнит разме-
щен в погруженной части тепловой трубы,
его обмотка подключена к выходу одного
цифроаналогового преобразователя, выход
другого цифроаналогового преобразователя
соединен со свободными концами второй
термопары, а входы цифроаналоговых пре-
образователей подключены к выходам мик-
ро-ЭВМ.

(19) UA (11) 22592 (13) A

Изобретение относится к области контактной термометрии и может быть использовано для повышения точности измерения криогенных температур низкотемпературными термопарами.

Известен способ определения криогенной температуры [Куинн Т. Температура: пер. с англ. — М.: Мир, 1985, С. 292], заключающийся во внесении спая термопары в исследуемую среду и регистрации термо-ЭДС, генерируемой на свободных концах термопары.

Известно устройство для определения криогенной температуры, содержащее низкотемпературную термопару, подключенную через усилитель к вторичному показывающему или регистрирующему прибору [Куинн Т. Температура: пер. с англ. — М.: Мир, 1985, С. 292].

Недостатком способа и устройства является низкая точность из-за нестабильности измеряемой термо-ЭДС. Это объясняется возрастающей ролью фононов и механизмов их рассеивания, приводящих к тому, что термо-ЭДС сильнее зависит от примесей и неоднородностей в области низких температур, чем при высоких температурах, где термо-ЭДС почти целиком зависит от рассеяния электронов решеткой. Кроме того, термо-ЭДС при низких температурах обычно невелика и поэтому вклад охлаждения части термопары в общее напряжение мал. Неоднородности проволоки, которая находится при температуре вблизи комнатной, где чувствительность часто порядка 50 мкВ/К могут вызвать паразитные термо-ЭДС, приводящие к большой погрешности, если термопара имеет, например, чувствительность только 3 мкВ/К при 20 К. В результате возникает большая мультипликативная и аддитивная погрешности (погрешности чувствительности и нуля термопары), которые трудно учесть из-за их прогрессирующего характера.

Известен способ измерения криогенных температур, заключающийся в том, что для повышения точности и чувствительности используют не одну, а несколько низкотемпературных термопар, соединенных последовательно и образующих термобатарею, которую помещено в исследуемую среду [Орлова М.П. и др. Низкотемпературная термометрия. М.: Энергоатомиздат, 1987, С. 186].

Устройство содержит n последовательно соединенных термопар и вторичный прибор [Орлова М.П. и др. Низкотемпературная термометрия. М.: Энергоатомиздат, 1987, С. 186].

Однако это не означает, что при измерении температуры батареей, состоящей из n

термопар, чувствительности ее будет в n раз выше. Дело в том, что одновременно с увеличением термо-ЭДС повышается сопротивление электрической цепи. Поэтому чувствительность измерительной схемы будет зависеть от входного сопротивления вторичного измерительного прибора. Влияние паразитных ТЭДС, возникающих из-за неомогенности проволоки в термобатареи несколько уменьшается. Однако показания вторичного прибора зависимыми от мультипликативной составляющей погрешности и, кроме того, искажаются из-за теплообмена по термоэлектродам, концы которых находятся при разных температурах.

Известен также способ определения температуры [Авт. св. СССР № 1280338, кл. G 01 K 7/02, 1985], заключающийся в регистрации установившегося значения термо-ЭДС термопары, помещенной в исследуемую среду, пропускании постоянного тока через термопару, охлаждения спая термопары, включении тока, пропускаемого через термопару, регистрации каждый раз установившихся значений термо-ЭДС и определении температуры среды. При этом вначале пропускают ток через спай с полярностью, вызывающей его нагрев, включают ток, принудительно охлаждают спай термопары потоком воздуха, затем одновременно с охлаждением спая потоком воздуха нагревают спай включением тока того же значения, что и при первоначальном нагреве, а температуру среды определяют из следующей зависимости:

$$T_x = \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{(\alpha_2 - \alpha_1) - (\alpha_4 - \alpha_3)} \cdot \frac{\Pi I}{C},$$

где T_x — контролируемая температура;

Π — коэффициент Пельтье;

C — эквивалентная теплоемкость спая;

I — ток нагрева;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и α_4 — соответственно первое,

второе, третье и четвертое установившееся значение показаний термоэлектрического термометра.

Устройство, реализующее этот способ, содержит термопару, свободные концы которой через усилитель соединены со входом аналого-цифрового преобразователя, кодовыми выходами подключенного к входу вычислительно-управляющего блока, выполненного на основе микро-ЭВМ и цифрового индикатора [Авт. св. СССР № 1280338, кл. G 01 K 7/02, 1985].

Известный способ и устройство не обеспечивают высокой точности измерения криогенных температур. Это объясняется

большими дополнительными погрешностями, возникающими при использовании воздуха для принудительного охлаждения спая температуры. При прохождении потока воздуха под защитным чехлом термопары, который находится в зоне криогенной температуры, возникает большой температурный градиент потока. Последний сильно зависит от объемной скорости потока воздуха, его компонентного состава и обуславливает появление неконтролируемых термо-ЭДС из-за неизбежной неоднородности термоэлектродной проволоки. Дополнительный нагрев спая электрическим током с одновременным охлаждением спая потоком воздуха изменяет температурный градиент потока воздуха и делает зависимым коэффициент конвективных тепловых потерь от измеряемой температуры. В результате этого нарушаются математические соотношения, положенные в основу известного способа.

Недостатком устройства является также большое время определения температуры исследуемой среды из-за необходимости ручной обработки результатов зарегистрированных значений термо-ЭДС при дополнительных воздействиях на ее спай.

Таким образом, в основу изобретения положена задача создать способ и устройство для определения криогенных температур на основе термопары, помещенной в тепловую трубу, что позволило бы обеспечить измерения, на которые не оказывали бы влияния погрешности, вызванные охлаждением и нагревом спая термопары, благодаря чему повысилась бы точность и быстродействие измерения криогенных температур при одновременной автоматизации процесса.

Поставленная задача решается тем, что в способе определения криогенной температуры, заключающемся в регистрации установившегося значения термо-ЭДС термопары, помещенной в исследуемую среду, пропускании постоянного тока через термопару, охлаждении спая термопары, выключении тока, пропускаемого через термопару, регистрации каждый раз установившихся значений термо-ЭДС и определении температуры среды согласно изобретению, дополнительно воздействуют на термопару парамагнитным паро-жидкостным теплоносителем, передающим тепло от окружающей среды к спая термопары путем испарения жидкости и последующей конденсации пара в области спая, при этом на парамагнитный теплоноситель вначале воздействуют постоянным магнитным полем, прерывая поток тепла к спая, после чего регистрируют уста-

новившееся значение термо-ЭДС E_1 , затем охлаждают спай термопары пропусканием через нее постоянного тока соответствующего направления, регистрируют второе значение термо-ЭДС E_2 , далее нагревают спай снятием воздействия магнитного поля на парамагнитный теплоноситель, регистрируют третье значение термо-ЭДС E_3 , затем выключают ток, пропускаемый через термопару, и регистрируют четвертое значение термо-ЭДС E_4 , и определяют температуру среды T_x из следующей зависимости:

$$T_x = T_0 - \frac{(E_4 - E_1) \Delta T_1}{(E_4 - E_3) - (E_1 - E_2)},$$

где T_0 — температура окружающей среды;

ΔT_1 — калиброванное понижение температуры спая при пропускании тока через термопару.

Поставленная задача решается также тем, что в устройство для определения криогенной температуры, содержащее термопару, свободные концы которой через усилитель соединены со входом аналого-цифрового преобразователя, кодовыми выходами подключенного к входу вычислительно-управляющего блока, выполненного на основе микро-ЭВМ и цифрового индикатора, согласно изобретению, введены два цифроаналоговых преобразователя, тепловая труба, заполненная парамагнитным газом, электромагнит и вторая термопара, спаям соединенная со спаем первой термопары, при этом обе термопары размещены в тепловой трубе, общий спай термопар находится в тепловом контакте с концом тепловой трубы, погруженным в исследуемую среду, свободные концы термопар выведены из другого конца тепловой трубы, находящегося при температуре окружающей среды, и находится в тепловом контакте с окружающей средой, при этом электромагнит размещен в погруженной части тепловой трубы, его обмотка подключена к выходу одного цифроаналогового преобразователя, выход другого цифроаналогового преобразователя соединен со свободными концами второй термопары, а входы цифроаналогового преобразователя подключены к выходам микро-ЭВМ.

Охлаждение спая термопары током, пропускаемым через термопару, последующий нагрев спая парамагнитным теплоносителем тепловой трубой, управляемый магнитным полем, и дальнейший нагрев спая выключением тока через термопару позволяет наиболее просто и эффективно осуществлять дополнительные тепловые

воздействия на спай. Обработка результатов избыточных измерений по предложенному соотношению позволяет исключить мультипликативную и аддитивную составляющие погрешности термодпары без внесения дополнительных погрешностей и получить непосредственный отсчет измеряемой температуры.

Введение в состав устройства тепловой трубы с дополнительными элементами цифро-аналоговых преобразователей, сопряженных с микро-ЭВМ, позволяет полностью автоматизировать процесс определения криогенной температуры и тем самым значительно уменьшить время измерения.

На чертеже представлена функциональная схема устройства для измерения криогенных температур.

Устройство содержит тепловую трубу 1, погруженную в исследуемую среду 2. В тепловой трубе 1 расположены две термодпары 3 и 4 с механически соединенными рабочими спаями 5 и размещенными на одном конце трубы в зоне конденсации теплоносителя. Свободные концы термодпар выведены из тепловой трубы 1 через гермовыводы 6 к колодке 7, которая находится в тепловом контакте с другим концом трубы в зоне испарения теплоносителя. Выведенные концы термодпары 3 подключены к входу усилителя 8, выход которого через аналого-цифровой преобразователь 9 соединен с первым входом вычислительно-управляющего блока выполненного на основе микро-ЭВМ 10, к первому выходу которой подключен цифровой индикатор 11. Ко второму выходу микро-ЭВМ 10 подключен цифроаналоговый преобразователь 12, выходами соединенный с обмоткой электромагнита 13. Третий выход микро-ЭВМ соединен с входом цифроаналогового преобразователя 14, выходы которого соединены со свободными концами термодпары 4. Электромагнит 13 размещен в погруженной части тепловой трубы 1. Зона конденсации тепловой трубы размещена в исследуемой среде с криогенной температурой T_x , а зона испарения — в окружающей среде закрытых производственных помещений с температурой T_0 .

Сама тепловая труба представляет собой вакуумированную камеру из немагнитного материала (медь, латунь), внутренняя поверхность которой облицована капиллярной структурой (фитиль), заполненной парамагнитной паро-жидкостной смесью (конденсатором газообразного теплоносителя). Основным механизмом теплопередачи в тепловой трубе является осевой конвективный перенос скрытой теплоты па-

рообразования парами из испарителя в конденсатор. При этом количество тепла, передаваемого тепловой трубой, пропорционально разности температур наружной поверхности испарителя тепловой трубы и наружной поверхности конденсатора трубы.

Способ измерения криогенных температур реализуется в следующей последовательности.

Один из концов тепловой трубы, заполненный теплоносителем в виде парамагнитного газа, например, кислородом или оксидом азота, приводят в тепловой контакт с исследуемой криогенной (низкотемпературной) средой, а другой конец — в тепловой контакт с окружающей более высокотемпературной средой. На "холодном" конце тепловой трубы размещают рабочий спай термодпар, на "теплом" конце трубы — ее свободные концы. На погруженной части тепловой трубы (в адиабатической зоне) размещают электромагнит, с помощью которого создают магнитное поле, воздействующее на парамагнитный газ, который распространяется в трубе от испарителя к конденсатору.

Пропускают через электромагнит ток I_1 , создающий внутри трубы магнитное поле. В результате воздействия магнитного поля молекулы газообразного носителя, например, кислорода, обладающие парамагнитными свойствами, втягиваются в зону действия электромагнита, тормозятся, конденсируются на внутренней поверхности трубы и возвращаются в виде жидкости к испарителю по фитилю, не доходя до конца трубы, где расположен спай термодпары.

В целом тепловая труба работает по принципу замкнутого испарительно-конденсационного цикла, основанного на испарении жидкости (кислорода) в зоне подвода тепла, передаче тепла с потоком пара, конденсации пара в зоне отвода тепла и возврата жидкости к испарителю за счет капиллярных сил. При этом тепловая труба используется для формирования дополнительных теплофизических воздействий на спай термодпары и как защитный кожух термодпары.

В результате воздействия магнитного поля тепловой поток внутри трубы прерывается и спай термодпары не получает дополнительный подогрев. Термо-ЭДС, развиваемая в этом случае рабочим спаем, определяется разностью температур исследуемой среды и температуры окружающей среды. С учетом нелинейности и погрешностей термодпары ее термо-ЭДС описывается выражением:

$$E_1 = b(1 + \gamma_1)(T_0 - T_x) + a + \delta_1, \quad (1)$$

где b – угловой параметр (дифференциальная чувствительность) термопары при температуре спая T_x , определяемая углом наклона аппроксимирующей касательной;

$\gamma_1 = \frac{\Delta S}{S}$ – относительная погрешность дифференциальной чувствительности термопары;

δ_1 – абсолютная аддитивная погрешность, обусловленная неоднородностью термоэлектродов и дрейфом нуля усилителя измерительной схемы;

α – нулевой параметр, определяющий начальное положение аппроксимирующей касательной относительно нуля градуировочной характеристики термопары;

T_o – температура окружающей среды.

Регистрируют установившееся значение термо-ЭДС E_1 . Затем через спай термопары пропускают постоянный электрический ток I_2 в направлении, вызывающем дополнительное охлаждение спая за счет поглощения в нем теплоты Пельтье $q_1 = -\Pi I_2$, где Π – коэффициент Пельтье материалов термоэлектродов. Понижение температуры рабочего спая на значение ΔT_1 определяется количеством поглощенной теплоты Пельтье q_1 и теплопередачей спая в исследуемую среду. Известное значение ΔT_1 для конкретной термопары определяют в процессе калибровки перед началом эксплуатации на криогенном объекте с учетом его теплофизических свойств. При этом значение ΔT_1 соответствует заданному току через рабочий спай ТЭП и диапазону температуры исследуемой среды. В результате понижения температуры спая значение термо-ЭДС также изменится и будет равно

$$E_2 = b(1 + \gamma_2)(T_o - T_x - \Delta T_1) + a + \delta_2, \quad (2)$$

где γ_2 и δ_2 – мультипликативная и аддитивная погрешности термопары при понижении температуры спая T_x на ΔT_1 .

Регистрируют установившееся значение термо-ЭДС E_2 .

Повышают температуру рабочего спая термопары путем снятия воздействия магнитного поля на кислородный теплоноситель тепловой трубы, для чего прерывают ток электромагнита ($I_1 = 0$). В результате устранения торможения частиц кислорода в зоне магнитного поля происходит их движение к концу тепловой трубы и перенос тепла к спая термопары. В результате переноса тепла по трубе изменяется температура спая в сторону повышения и термо-ЭДС принимает новое значение

$$E_3 = b(1 + \gamma_3)(T_o - T_x - \Delta T_1 + \Delta T_2) + a + \delta_3, \quad (3)$$

где ΔT_2 – повышение температуры спая за счет теплопередачи тепла по трубе;

γ_3 и δ_3 – погрешности термопары при дополнительном нагреве спая.

Повышение температуры спая можно определить из соотношения

$$\Delta T_2 = \frac{q_2}{\alpha F_1}, \quad (4)$$

где q_2 – тепло, передаваемое трубой в единицу времени;

α – коэффициент теплоотдачи "холодного" конца трубы;

F_1 – поверхность теплоотдачи.

Конвективный теплоперенос парами описывается соотношением Клаузиуса-Клайперона. При этом разность температур жидкости и пара на поверхности раздела обычно очень мала и ею можно пренебречь. С учетом этого количества тепла q_2 , передаваемого тепловой трубой в единицу времени, определяются соотношением

$$q_2 = K F_2 (T_n - T_k), \quad (5)$$

где K – коэффициент теплопередачи, отнесенный к площади поперечного сечения F_2 трубы;

T_n – температура наружной поверхности испарителя тепловой трубы;

T_k – температура наружной поверхности конденсатора трубы.

С учетом выражения (5) имеем

$$\Delta T_2 = \frac{K (T_o - T_x - \Delta T_1) F_2}{\alpha F_1}, \quad (6)$$

Выражение (3) представим в измененном виде

$$E_3 = b(1 + \gamma_3)(T_o - T_x - \Delta T_1) + \frac{\Delta T_2}{T_o - T_x - \Delta T_1} + a + \delta_3, \quad (7)$$

Подставляя в выражение (7) значение ΔT_2 из соотношения (6), получим

$$E_3 = b(1 + \gamma_3) \left(1 + \frac{K F_2}{\alpha F_1}\right) (T_o - T_x - \Delta T_1) + a + \delta_3 = b(1 + \gamma_3) K q (T_o - T_x - \Delta T_1) + a + \delta_3, \quad (8)$$

где $K_q = 1 + \frac{K F_2}{\alpha F_1} > 1$ – постоянный коэффициент, учитывающий повышение температуры рабочего спая термопары при "открытой" тепловой трубе.

Как видно из выражения (8), K_q не зависит от измеряемой температуры T_x , а определяется только параметрами тепловой трубы.

После регистрации установившегося значения термо-ЭДС E_3 прерывают постоянный ток через спай термопары ($I_2 = 0$). В результате этого температура спая еще более повышается и термо-ЭДС спая принимает значение

$$E_4 = b(1 + \gamma_4) K_q(T_0 - T_x) + a + \delta_4, \quad (9)$$

где γ_4 и δ_4 – погрешности термопары при снятии дополнительного охлаждения спая.

Дополнительные результаты измерений (2), (8), (9) получают, выбирая интенсивность дополнительного охлаждения и нагрева из условия изменения термо-ЭДС в пределах 5–10 порогов чувствительности используемого измерителя термо-ЭДС, что позволяет считать все погрешности термопары в окрестностях первоначального показания одинаковыми ($\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4$, $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4$).

Составив из полученных выражений термо-ЭДС (1), (2), (8) и (9) систему четырех уравнений и решая ее относительно искомой температуры T_x , получают

$$T_x = T_0 - \frac{(E_4 - E_1) \Delta T_1}{(E_4 - E_3) - (E_1 - E_2)}, \quad (10)$$

Из полученной формулы (10) видно, что результат определения температуры не зависит от изменения чувствительности термопары, а также от аддитивной (δ) и мультипликативной (γ) составляющих погрешности преобразования температуры. Точность результата вычисления по формуле (10) высока, так как в ней присутствует только одна известная величина ΔT_1 и отсутствуют методические погрешности от формирования других дополнительных воздействий на спай.

Выбор магнитной индукции поля, создаваемого электромагнитом, осуществляется из следующих соображений. Торможение молекул кислорода связано с его парамагнитными свойствами. Интенсивность намагничивания J кислорода определяется соотношением

$$J = \frac{C_k \mu \rho}{R T^2}, \quad (11)$$

где C_k – постоянная Кюри;

μ – молекулярная масса газа;

ρ и T – абсолютное давление и температура;

R – универсальная газовая постоянная.

Магнитная восприимчивость χ парамагнитного газа (кислорода) определяется формулой

$$\chi = \frac{J}{B}, \quad (12)$$

где B – магнитная индукция.

Как видно из формул (11) и (12) магнитные свойства парамагнитного газа сильно проявляются в средах с низкой абсолютной температурой. Поэтому в области криогенных температур (–273...–73°C) для управления потоком теплоносителя в тепловой трубе достаточно создать внутри трубы индукцию магнитного поля порядка (3–5).

Таким образом, рассмотренный способ формирования дополнительных теплофизических воздействий на спай термопары на основе механизма передачи тепловой энергии тепловой трубой с кислородным теплоносителем, управляемой магнитным полем, отличается простотой реализации и надежностью.

Калибровку термопары осуществляют непосредственного в исследуемой среде перед началом эксплуатации, когда ее характеристика соответствует градуировочной. Для этого через спай термопары пропускают ток, вызывающий охлаждение спая на 5–10 порогов чувствительности используемого измерителя напряжения (цифрового милливольтметра или АЦП). Температура охлаждения спая

$$\Delta T_1 = \frac{q_1}{\alpha F_1} = \frac{\pi I_2}{\alpha F_1} \quad (13)$$

и определяется теплофизическими свойствами исследуемой среды (αF_1). Значение температуры охлаждения ΔT_1 определяют из измеренной при калибровке разности термо-ЭДС из соотношения

$$\Delta T_1 = \frac{E_1 - E_2}{S} \quad (14)$$

где $S = b$ – номинальная дифференциальная чувствительность термопары при температуре калибровки;

E_1 и E_2 – термо-ЭДС до и после пропускания тока через спай.

При номинальной характеристике термопары диапазон измеряемых температур разбивают на поддиапазоны, для каждого из

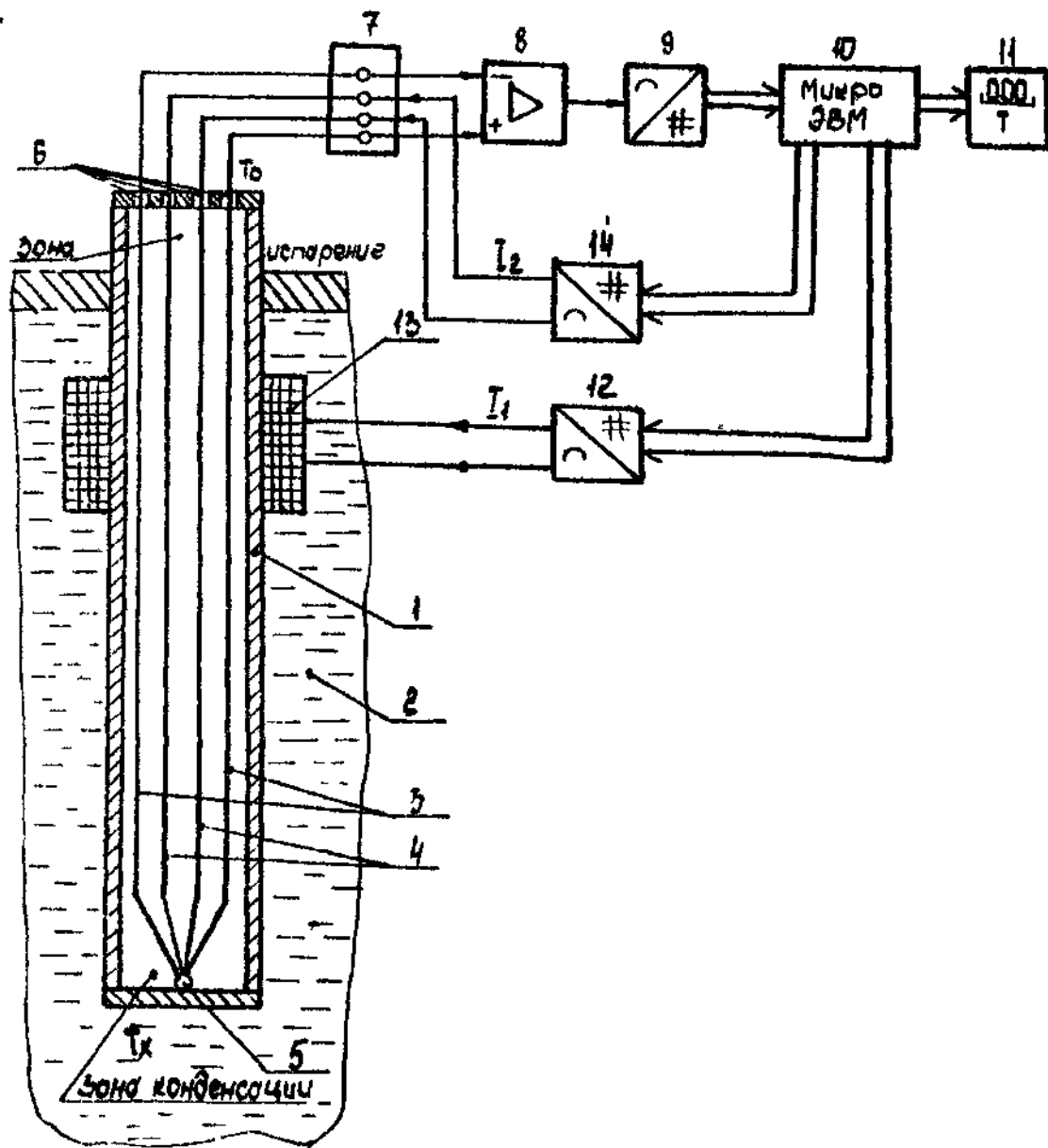
которых определяют свое значение калиброванного понижения температуры.

Значение тока I_1 запоминают и поддерживают постоянным при формировании дополнительных воздействий на спай термопары.

Устройство для определения криогенной температуры работает следующим образом. Вначале по команде микро-ЭВМ 10 с помощью цифроаналогового преобразователя 12 формируется ток I_1 , который протекает через обмотки электромагнита 13, формируя при этом в адиабатической зоне тепловой трубы магнитное поле с заданной индукцией B . В результате взаимодействия теплоносителя тепловой трубы (кислорода) с магнитным полем прекращается передача тепла к рабочему спаю термопары 3 и температура его становится равной температуре T_x контролируемой среды. Так как инерционность тепловой трубы, т.е. время, необходимое для установления нового значения термо-ЭДС ТЭП, находится в пределах 10–20 с, то необходимая выдержка задается ЭВМ. Измеряют и запоминают значение термо-ЭДС E_1 , соответствующее температуре T_x контролируемой среды. Затем по команде микро-ЭВМ 10 с помощью цифроаналогового преобразователя 14 через общий рабочий спай 5 пропускают постоянный электрический ток заданного значения I_2 по термопаре 4, вызывающей

понижение температуры рабочего спая 5 на величину ΔT_1 . После измерения и запоминания нового значения термо-ЭДС E_2 по команде микро-ЭВМ 10 выключается ток I_1 электромагнита 13, что обеспечивает дополнительный нагрев рабочего спая ТЭП на температуру ΔT_2 за счет переноса тепла от окружающей среды. Измеряют и регистрируют установившееся значение термо-ЭДС E_3 . Затем по очередной команде микро-ЭВМ 10 прерывают ток I_2 через рабочий спай термопары 4. При этом температура общего спая 5 повышается на значение ΔT_1 , а соответствующее ей значение термо-ЭДС E_4 измеряют и запоминают. В микро-ЭВМ 10 вычисляют в соответствии с формулой (10) значение искомой температуры T_x и ее значение выводят на цифровой индикатор 11. Так как магнитным полем воздействуют не на рабочий спай термопары, а на парамагнитный пар в тепловой трубе, то снимаются ограничения на выбор типа термопар, что позволяет применять высокочувствительные для низких температур термопары с высоким содержанием ферромагнитных добавок. Сама тепловая труба 1 используется как защитный кожух термопар 3 и 4 и обеспечивает их надежную эксплуатацию.

Предложенный способ и устройство обеспечивают измерение криогенных температур в диапазоне от -73 К до 270 К с погрешностью не более $0,1$ – $0,2$ К.



Упорядник

Техред М.Келемеш

Коректор Л.Лукач

Замовлення 4495

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101