

О. П. Скобелев Н. М. Старобинский

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХЪЕМКОСТНОЙ МОДЕЛИ ТЕРМОПРИЕМНИКА ПОЛЯ

Одна из возможных областей применения термодатчиков — измерение различных энергетических воздействий. Они, в частности, могут быть средством измерения локальной мощности ультразвукового и электромагнитного полей, лазерных излучений и прочих энергетических воздействий, преобразуемых в тепло. Термодатчик (рис. 1) содержит температурочувствительный элемент, покрытый слоем вещества, хорошо поглощающего энергию внешнего воздействия. Преобразованная в тепло энергия характеризует величину первичного воздействия.

При исследовании влияния на характеристики термодатчика его физических и конструктивных параметров, а также параметров окружающей среды удобно использовать метод электротепло-

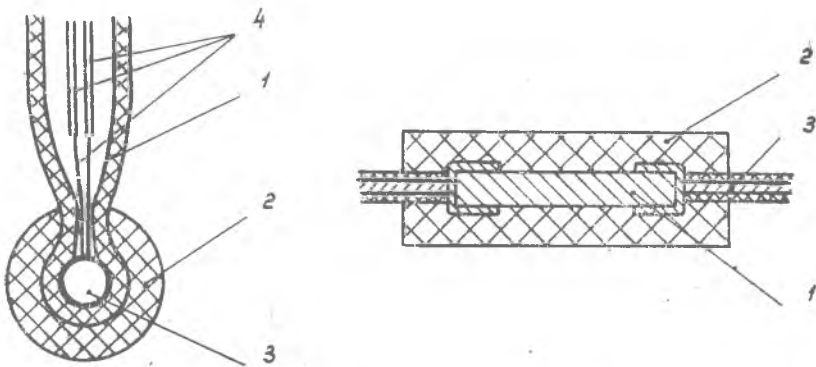


Рис. 1. а) термодатчик с терморезистором КМТ-14;

1 — слой стекла; 2 — поглотитель; 3 — бусинка терморезистора; 4 — токопроводы

б) термодатчик с терморезистором ММТ-1;

1 — терморезистор; 2 — поглотитель; 3 — токопроводы

вых аналогий, согласно которому ТП представляется в виде эквивалентной схемы с последовательно включенными ячейками  $\rho c$ . Для упрощения анализа применяется модель приемника только с двумя инерционными элементами  $c_1, c_2$ , характеризующими теплоемкость поглотителя и терморезистора (рис. 2). Однако при опи-

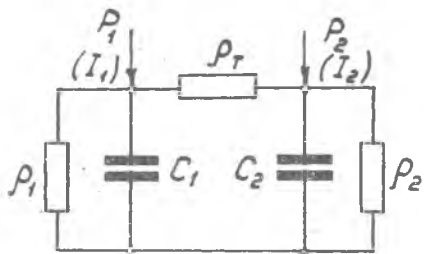


Рис. 2

санный ниже методике определения параметров такой модели переходная характеристика достаточно точно описывает тепловые системы и более высокого порядка. В эквивалентной схеме  $\rho_1$  характеризует отвод тепла проводниками,  $\rho_T$  — сопротивление тепловому потоку поглотитель — терморезистор,  $\rho_2$  — отвод с поверхности поглотителя в окружающую среду и сопротивление теп-

ловому потоку в самом поглотителе. Мощность измерительного тока  $P_1$  и мощность искомого теплового источника  $P_2$ , соответствующего внешнему воздействию, эквивалентны источникам тока  $I_1, I_2$ , а падение напряжения на  $\rho_1$  эквивалентно температуре терморезистора  $\Theta_1$ .

Решение системы уравнений, составленной для узлов схемы в установившемся режиме, определяет связь температуры терморезистора и мощностей  $P_1, P_2$  через параметры  $\rho_1, \rho_2, \rho_T$ , которые мы назовем статическими

при 
$$\Delta P_2 = 0, \quad \Theta_1 = K_1 P_1, \quad (1)$$

при 
$$\Delta P_2 \neq 0 \quad \Theta_1 = K_1 P_1 + K_2 \Delta P_2^*, \quad (2)$$

где

$$K_1 = \frac{y_2 + y_T}{y_1(y_2 + y_T) + y_2 y_T}, \quad K_2 = K_1 \frac{y_T}{y_2 + y_T},$$

$$y_2 = \frac{1}{\rho_2}, \quad y_1 = \frac{1}{\rho_1}, \quad y_T = \frac{1}{\rho_T}.$$

Решение системы дифференциальных уравнений в предположении малых изменений  $\Delta P_2$  и  $\Delta \Theta_1$ , в пределах которых терморезистор можно считать линейной системой, определяет  $\Delta \Theta_1(\tau)$ :

где 
$$\Delta \Theta_1 = K_2 \Delta P_2 \left( 1 + \frac{\tau_1}{\tau_2 - \tau_1} e^{-\tau/\tau_1} - \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_1} e^{-\tau/\tau_2} \right), \quad (3)$$

$$\tau_{1,2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(y_2 + y_T) c_1 + (y_1 + y_T) c_2}{(y_2 + y_T)(y_T + y_1) - y_T^2} \pm \right.$$

$$\left. \pm \sqrt{\frac{(y_2 + y_T) c_1 + (y_1 + y_T) c_2}{(y_2 + y_T)(y_T + y_1) - y_T^2} - \frac{4c_1 c_2}{(y_2 + y_T)(y_T + y_1) - y_T^2}} \right].$$

Параметры  $c_1, c_2$  мы назовем динамическими.

\* Предполагается, что при появлении  $\Delta P_2$  и разогреве терморезистора изменения мощности  $P_1$  не происходит.

В большинстве случаев расчет статических и динамических параметров через удельные теплопроводности и теплоемкости материала ТП вызывает затруднения, связанные с геометрией элементов ТП, а также неизвестным распределением тепла в поглотителе. Поэтому для нахождения параметров эквивалентной схемы приходится использовать экспериментально-расчетные методы, широко применяемые в практике работы с полупроводниковыми терморезисторами [1]. В отличие от терморезисторов с косвенным подогревом; при исследовании которых возникают подобные задачи, в рассматриваемых приемниках, помимо параметров  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_T$  и  $c_1$ ,  $c_2$ , неизвестна мощность  $\Delta P_2$ , определение которой в большинстве случаев представляет самостоятельный интерес. Сущность предлагаемого метода состоит в проведении ряда совокупных измерений при различных условиях теплоотдачи, создаваемых искусственно.

Предположим, что известны параметр  $y_1$  и мощность  $\Delta P_2$ , а параметр  $y_2$  остается неизменным при включении  $\Delta P_2$ . Тогда для определения двух неизвестных  $y_T$  и  $y_2$  достаточно двух уравнений:

$$\frac{y_2 + y_T}{y_1 (y_2 + y_T) + y_2 y_T} = K_1, \quad (4)$$

$$\frac{y_T}{y_2 + y_T} K_1 = K_2, \quad (5)$$

в которых  $K_1$  и  $K_2$  вычислены с помощью выражений  $K_1 = \frac{\theta_1}{P_1}$ ,  $K_2 = \frac{\Delta \theta_1}{\Delta P_2}$ , а  $\Delta \theta_1$ ,  $\theta_1$ ,  $P_1$  получены экспериментально.

В реальных условиях величины  $y_1$  и  $\Delta P_2$  неизвестны. Следовательно, двух уравнений (4) и (5) недостаточно для определения трех параметров ТП и мощности  $\Delta P_2$ . Необходимы дополнительные независимые уравнения.

Если изменить условия теплопередачи при неизменной мощности  $\Delta P_2$ , то для новых условий можно составить два дополнительных уравнения, аналогичных (4) и (5). В результате образуется система четырех уравнений, но с дополнительным неизвестным параметром  $y_2''$ .

Система имеет вид:

$$\frac{y_2' + y_T}{y_1 (y_2' + y_T) + y_2' y_T} = K_1', \quad (6)$$

$$K_1' \frac{y_T}{y_2' + y_T} \cdot \Delta P_2 = K_2' \cdot \Delta P_2 = \Delta \theta_1', \quad (7)$$

$$\frac{y_2'' + y_T}{(y_2'' + y_T) + y_2' y_T} = K_1'' \quad (8)$$

$$K_1'' \frac{y_T}{y_2'' + y_T} \cdot \Delta P_2 = K_2'' \Delta P_2 = \Delta \theta_1'' \quad (9)$$

где индексами ' и '' обозначены состояния ТП, соответствующие двум различным условиям теплоотдачи ( $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ). Делением (7) на (9), исключив мощность  $\Delta P_2$ , получим систему трех уравнений с четырьмя неизвестными параметрами  $y_1$ ,  $y_2'$ ,  $y_2''$ ,  $y_T$ :

$$\frac{y_2' y_T}{y_2' + y_T} = \frac{1}{K_1'} - y_1 \quad (10)$$

$$\frac{y_2'' y_T}{y_2'' + y_T} = \frac{1}{K_1''} - y_1 \quad (11)$$

$$\frac{y_2' + y_T}{y_2'' + y_T} = \frac{m K_1'}{K_1''} \quad (12)$$

где  $m = \frac{\Delta \theta_1''}{\Delta \theta_1'} = \frac{K_2''}{K_2'}$ .

Если отводом по проводам можно пренебречь ( $y_1 = 0$ ), то система уравнений (10—12) позволяет вычислить параметры ТП по коэффициентам  $k_1$ ,  $m$ , полученными экспериментально. В общем случае при  $y_1 \neq 0$  уравнений (10—12) также недостаточно.

Отвод тепла, характеризуемый  $y_1$ , зависит от конструкции терморезистора, диаметра и материала проводов. Поэтому достаточно однократно определить  $y_1$  для каждого типа терморезистора и в дальнейшем использовать в уравнениях (10—12) как известный параметр.

Чтобы найти  $y_1$  экспериментально, в поглотителе одного из образцов ТП данного типа монтируется миниатюрный электрический подогреватель. Мощность в подогревателе легко определяется током и напряжением  $\Delta P_{2п} = i \cdot u$ . Очевидно, что эквивалентная схема такой конструкции и терморезистора поля аналогичны. Параметры  $y_T$ ,  $y_2$  ТП с подогревателем отличаются от аналогичных параметров рассматриваемого приемника, в то время как  $y_1$  в обеих эквивалентных схемах остается неизменным. Путем последовательных преобразований системы (6—9) получена расчетная формула

$$y_1 = \frac{K_1'' - K_2' - K_1' + K_2''}{K_1' (K_1'' - K_2'') - K_1'' (K_1' - K_2')} \quad (13)$$

где параметры ТП с подогревателем  $K_1$ ,  $K_2$  определяются по экспериментальным значениям  $\theta_1$ ,  $\rho_1$ ,  $\Delta \theta_1$ ,  $\Delta P_{2п}$ . Выражение (13) мо-

можно рассматривать как четвертое независимое уравнение к системе (10—12).

Преобразованиями (10—12) получены расчетные формулы для определения остальных параметров ТП

$$y_1 = \left[ 1 + \frac{m(K_1' - K_1'')}{(K_1'' - mK_1')(1 - K_1'' y_1)} \right] \left( \frac{1}{K_1''} - y_1 \right),$$

$$y_2'' = \frac{(K_1'' - mK_1')(1 - K_1'' y_1)}{m(K_1' - K_1'')} y_1,$$

$$y_2' = \frac{(1 - K_1') m}{(1 - K_1'') y_1} y_2''.$$

По известному температурному перепаду  $\Delta\theta_1'$  (или  $\Delta\theta_1''$ ) вычисляется мощность теплового источника

$$\Delta P_2 = \frac{\Delta\theta_1'}{K_2'} = \frac{\Delta\theta_1''}{K_2''}.$$

Таким образом, ряд экспериментов, в ходе которых определяются коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$  и температурные перепады  $\Delta\theta_1$ , позволяет найти статические параметры ТП и мощность теплового источника в поглотителе.

Экспериментальное определение указанных величин для приемников ультразвукового и электромагнитного поля связано с некоторыми особенностями:

1. Мощность  $P_1$  измеряется по току ( $i_1$ ) и напряжению ( $U_1$ ) на терморезисторе. Температура  $\theta_1$  по сопротивлению  $R = \frac{U_1}{i_1}$  с помощью характеристики  $R(\theta_1)$ . Для более точного определения  $K_1 = \frac{\theta_1}{P_1}$  снимается несколько точек вольтамперной характеристики ПТС и строится зависимость  $P_1(\theta_1)$ , которая близка к линейной. Наклон прямой  $\frac{\partial\theta_1}{\partial P_1}$  характеризует  $K_1$  [1,2].

2. Температурный перепад  $\Delta\theta_1$  можно измерить двумя способами. Первый способ состоит в построении зависимости  $P_1(\theta_1)$  при  $\Delta P_2 = 0$  и  $\Delta P_2 \neq 0$ . Для некоторой точки характеристики, у которой отсутствуют изменения  $P_1$  при появлении  $\Delta P_2$ :

$$\Delta\theta_1 = \theta_1(\Delta P_2 \neq 0) - \theta_1(\Delta P_2 = 0).$$

Во втором способе применяется градуированный мост, выходное напряжение которого соответствует  $\Delta\theta_1$ . Этот способ обеспечивает более высокую чувствительность и может быть использован при определении динамических характеристик.

3. При определении  $\Delta\theta_1$  необходимым условием является постоянство  $y_2$  при  $\Delta P_2 = 0$  и  $\Delta P_2 \neq 0$ . При включении электромагнитного поля изменения  $y_2$  незначительны. В ультразвуковом поле

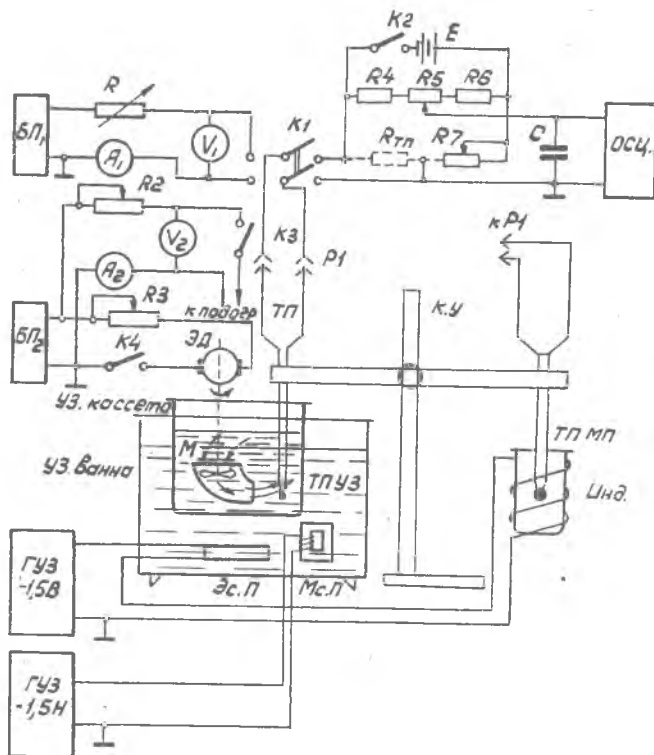


Рис. 3. Стенд для получения экспериментальных характеристик термореприемников:

ТП УЗ, ТП МП — приемники ультразвукового и магнитного поля; ГУЗ-1,5 В, ГУЗ-1,5 Н — ультразвуковые генераторы высокочастотный и низкочастотный; Эс. П, Мс. П — электрострикционный и магнитострикционный преобразователи; ИНД — индуктор; БП. 1 — блок питания для снятия вольтамперных характеристик; БП. 2 — блок питания для электроподогревателя ТП и электроподогревателя (ЭД) с мешалкой (М); Е — источник питания мостовой схемы для получения переходной характеристики и установившегося перепада температуры ТП; ОСЧ. — электронный осциллограф с фотоприставкой; К. У. — координатное устройство перемещения ТП

возникают потоки жидкости, существенно влияющие на величину  $y_2$ . Следовательно, в уравнениях (6—7) значения  $y_2'$  окажутся различными; то же касается параметров  $y_2''$ . Решение системы (6—9) в предположении  $y_2' = \text{const}$ ,  $y_2'' = \text{const}$  при  $\Delta P_2 = 0$ ,  $\Delta P_2 \neq 0$  приводит к ошибкам. Поэтому эксперимент проводится в такой зоне поля, где потоки жидкости минимальны. Влияние потоков при  $\Delta P_2 \neq 0$  практически исключается, если ТП экранируется тонкой пленкой, прозрачной для ультразвуковых волн.

4. Различные условия теплоотдачи ТП можно получить заменой окружающей среды с одной теплопроводностью на среду с другой

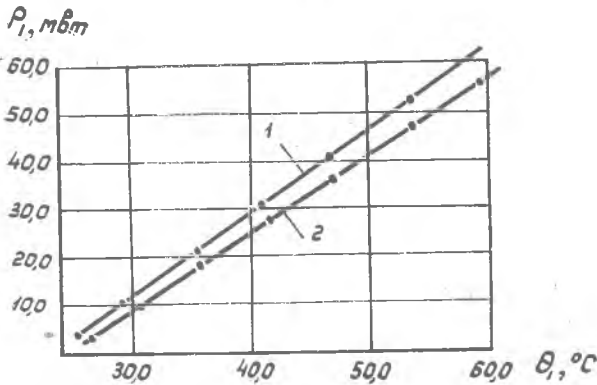


Рис. 4. 1.  $P_1(\theta_1)$  — в воде, электродвигатель мешалки отключен. 2.  $P_1(\theta_1)$  — в масле, электродвигатель мешалки отключен

теплопроводностью, или изменением скоростей потоков жидкости у поверхности ТП.

Обязательным дополнительным условием является  $\Delta P_2' = \Delta P_2''$ . В ультразвуковом поле его выполнение ограничивает возможные варианты только теми жидкостями, в которых волновые сопротивления равны или близки, а теплопроводность существенно отличается (вода — хлороформ, вода — трансформаторное масло).

Изменение скоростей потоков жидкости легко осуществляется обычной мешалкой. В этом случае условие  $\Delta P_2' = \Delta P_2''$  выполняется автоматически.

Динамические параметры ТП определяются по статическим параметрам из зависимости  $\Delta\theta_1(\tau)$  при включении источника  $\Delta P_2$ . Согласно методам, описанным в теории авторегулирования, из переходной характеристики  $\Delta\theta_1(\tau)$  получены параметры  $\tau_1$  и  $\tau_2$  (3), связанные со статическими и динамическими параметрами соотношениями:

$$\tau_1 \tau_2 = \frac{c_1 c_2}{(y_1 + y_T)(y_2 + y_T) - y_T^2}, \quad (14)$$

$$\tau_1 + \tau_2 = \frac{(y_2 + y_T) c_1 + (y_1 + y_2) c_2}{(y_1 + y_T)(y_2 + y_T) - y_T^2}. \quad (15)$$

Совместное решение (14, 15) приводит к уравнению вида

$$c_1^2 - M c_1^2 + N = 0, \quad (16)$$

где

$$M = \frac{(\tau_1 + \tau_2) [(y_1 + y_T)(y_2 + y_T) - y_T^2]}{y_2 + y_T},$$

$$N = \frac{(y_1 + y_T) [(y_1 + y_T)(y_2 + y_T) - y_T^2] \tau_1 \tau_2}{y_2 + y_T}$$

Из уравнений (16) и (14) определяются параметры  $c_1$ ,  $c_2$ .

Таблица 1

№ ТП	Тип терморезистора	Условия теплоотдачи	Результаты экспериментов и расчетов				
			$K_1$ , $\frac{г\text{рад}}{мвт}$	$\Delta\theta_1$ , $г\text{рад}$	$P_2$ , $мвт$	$K_2$ , $\frac{г\text{рад}}{мвт}$	$y_1$ , $\frac{мвт}{г\text{рад}}$
ТП УЗ № 50	КМТ-14	масло ( $\alpha'$ )	0,615	3,4	27,0	7,126	0,13
		вода ( $\alpha''$ )	0,57	2,1	27,0	0,078	0,13
ТП УЗ № 40	ММТ-1	масло ( $\alpha'$ )	0,065	3,2	75,6	0,043	13,2
		вода ( $\alpha''$ )	0,059	1,62	75,6	0,021	13,2

С помощью изложенного метода были определены статические и динамические параметры группы терморезисторов ультразвукового (ТП УЗ) и высококачественного магнитного поля (ТП МП). В ТП УЗ поглотитель выполнен из эпоксидной смолы, в ТП МП из оловянного припоя. На рис. 3 представлена схема стенда для получения необходимых экспериментальных характеристик ТП в ультразвуковом и магнитном поле.

В табл. 1 приведены результаты определения параметров  $y_1$ , характеризующих отвод тепла проводами в конструкциях ТП УЗ с электроподогревателями. На установке рис. 3 сняты вольтамперные характеристики ТП с терморезисторами КМТ-14 (ТП № 50, табл. 2). По вольтамперной характеристике построена зависимость  $P_1(\theta_1)$  для двух сред: трансформаторного масла ( $\alpha'$ ) и воды ( $\alpha''$ ) (рис. 4). Аналогичные эксперименты были проведены с ТП УЗ № 40 (терморезистор ММТ-1). Согласно табл. 1, в ТП с КМТ-14  $y_1 = 0,13 \text{ мвт/град.}$ , а в ТП с ММТ-1  $y_1 = 13,2 \text{ мвт/град.}$

Поскольку теплоотвод по проводам в КМТ-14 невелик, то предположение  $y_1 = 0$  не вызывает больших ошибок при определении других параметров ТП. Расчет параметров ТП с терморезистором ММТ-1 производится при  $y_1 = 13,2 \text{ мвт/град.}$

В таблице 3 представлены статические и динамические параметры ТП различного диаметра, формы и материала поглотителя. Для сравнительной оценки влияния диаметра и материала поглотителя используется один базовый терморезистор КМТ-14 № 3. Кроме того, в опытах с различными вариантами ТП сохраняются аналогичные условия теплоотдачи. В большинстве случаев определение параметров ТП производится при естественном характере циркуляции в двух средах с различными коэффициентами теплоотдачи  $\alpha'$  (трансформаторное масло) и  $\alpha''$  (вода). В некоторых случаях для выявления разброса параметров, влияющего на ошибки предложенного метода производится дополнительное определение параметров (ТП УЗ № 3  $d = 2,3 \text{ мм}$ ). При этом экспе-



Вольтамперные характеристики и зависимости  $P_1(\theta_1)$  ТП № 50  
(с электроподогревателем)

Окружающая среда — трансформаторное масло

	$U_{(в)}$	$i_{(ма)}$	$P_1$ (мвт)	$R_{(ком)}$	$\theta_1$ (°t)
1	9,00	0,295	2,66	30,50	27,0
2	15,50	0,610	9,45	25,40	30,6
3	19,30	0,960	18,50	20,10	35,8
4	21,20	1,340	28,40	15,80	41,6
5	21,80	1,680	36,60	13,00	47,2
6	22,00	2,090	46,00	10,50	53,8
7	21,80	2,560	55,80	8,52	59,5
8	24,40	3,080	65,80	6,95	64,6

Окружающая среда — вода

	$U_{(в)}$	$i_{(ма)}$	$P_1$ (мвт)	$R_{(ком)}$	$\theta_1$ (°t)
1	10,0	0,305	3,05	32,80	25,80
2	16,5	0,610	10,00	27,00	29,50
3	22,8	1,350	30,80	16,90	40,00
4	23,4	1,730	40,10	13,40	47,00
5	23,5	2,210	52,00	10,60	53,60
6	23,0	2,620	60,20	8,80	58,40
7	22,8	3,000	68,30	7,61	62,40

римент выполняется в одной и той же среде, но условия теплоотдачи изменяются за счет принудительного характера теплообмена при включении электродвигателя мешалки.

В табл. 3 приведены результаты расчета параметра  $K_2 = \frac{\Delta\theta_1}{\Delta P_2}$ , определяющего чувствительность ТП в статическом режиме измерения по установившемуся перепаду  $\Delta\theta_1$ .

Анализ точности метода определения статических параметров показывает, что условием наименьших ошибок является возможно

## Определение статических параметров термометриков

№ и назначение ТП	Тип ПТС	Диаметр поглоти- теля, мм	Условия теплооблачи		$u_1$ , $\frac{\text{мвт}}{\text{град}}$	Результаты эксперимента		Результаты расчета			
			окруж. среда	характер. цирку- ляции		$K_1$ , $\frac{\text{град}}{\text{мвт}}$	$\Delta\theta_1$ , $\text{град}$	$U_r$ , $\frac{\text{мвт}}{\text{град}}$	$U_g$ , $\frac{\text{мвт}}{\text{град}}$	$K_r$ , $\frac{\text{град}}{\text{мвт}}$	$K_g$ , $\frac{\text{град}}{\text{мвт}}$
ТУ УЗ № 3	КМТ-14	2,30	масло ( $\alpha'$ )	естеств.	0,0	0,667	-1,260	2,290	4,32	0,2310	
			вода ( $\alpha''$ )	естеств.	0,0	0,556	0,665	2,290	8,32	0,1200	
			масло	естеств ( $\alpha'$ )	0,0	0,667	1,250	2,250	4,46	0,2240	
			масло	принудит. ( $\alpha''$ )	0,0	0,571	0,720	2,250	7,80	0,1200	
			вода	естеств. ( $\alpha'$ )	0,0	0,556	0,655	2,260	8,92	0,1120	
			вода	принудит. ( $\alpha''$ )	0,0	0,522	0,455	2,260	12,80	0,0790	
ТП МП № 3	КМТ-14	2,30	масло ( $\alpha'$ )	естеств.	0,0	0,673	3,050	1,930	6,47	0,1550	
			вода ( $\alpha''$ )	естеств.	0,0	0,600	1,610	1,920	12,25	0,0816	
			масло ( $\alpha'$ )	естеств.	0,0	0,682	4,370	1,680	11,30	0,0888	
			вода ( $\alpha''$ )	естеств.	0,0	0,632	1,910	1,680	25,80	0,0388	
			масло ( $\alpha'$ )	естеств.	0,0	0,445	2,000	3,730	5,64	0,1770	
			вода ( $\alpha''$ )	естеств.	0,0	0,313	0,510	3,730	22,10	0,0452	
ТП УЗ № 40	ММТ-1	5,00	масло ( $\alpha'$ )	естеств.	13,20	0,0654	2,670	6,580	3,51	0,0426	
			вода ( $\alpha''$ )	естеств.	13,20	0,0588	1,440	6,580	10,25	0,0229	

### Определение динамических параметров термоприемников

№ и название ТП	ТИП ТПС	Диаметр-порт., мм	Условия теплоотдачи		Результаты эксперимента		Результаты расчета				
			окруж. среда	характер циркуляц.	$\tau_1'$ , сек	$\tau_2'$ , сек	$c_1$ , $\frac{\text{мвт, сек}}{\text{град}}$	$c_2$ , $\frac{\text{мвт, сек}}{\text{град}}$	$\tau_m$ , сек	$\tau_1''$ , сек	$\tau_2''$ , сек
ТП УЗ № 3	КМТ-14	2,30	масло ( $\alpha'$ )	естественный	5,150	0,0520	0,120	22,16	0,241	—	—
			вода ( $\alpha''$ )		—	—	—	—	0,209	2,68	0,0520
		масло ( $\alpha'$ )	9,750		0,3000	0,584	62,40	1,078	—	—	
		вода ( $\alpha''$ )	—		—	—	—	0,905	5,15	0,3000	
ТП МП № 3	КМТ-14	6,30	масло ( $\alpha'$ )	естественный	15,300	1,7000	2,920	169,00	4,200	—	—
			вода ( $\alpha''$ )		—	—	—	—	3,120	6,71	1,6900
		масло ( $\alpha'$ )	4,430		0,0905	0,342	24,67	0,359	—	—	
		вода ( $\alpha''$ )	—		—	—	—	0,248	1,13	0,0903	
ТП УЗ № 40	ММТ-1	5,00	масло ( $\alpha'$ )	естественный	21,600	2,4000	49,000	153,00	5,930	—	—
			вода ( $\alpha''$ )		—	—	—	—	4,770	11,63	2,390

большее отличие коэффициента теплоотдачи в исходных экспериментах. При выполнении поставленных условий обеспечивается точность до 10%. Это подтверждается проверкой на ТП с электроподогревателем, где мощность  $\Delta P_2$ , найденная предложенным методом, сравнивается с непосредственно измеренной величиной  $\Delta P_2$ .

При сравнении экспериментальных переходных характеристик ТП и характеристик, рассчитанных по найденным динамическим параметрам, обнаруживаются отклонения, также не превышающие 10%.

Указанная точность в определении статических и динамических параметров ТП удовлетворительна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Шашков, А. С. Касперович. Динамические свойства цепей с термисторами. ГЭИ, М, Л, 1962.
2. И. Ф. Волошин, И. Н. Рудкий. Определение коэффициента рассеяния термистора, ИФЖ, т. 1, № 8, 1958.

