

ДИНАМИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТЕЧНОСТЕН ТЕРМОМЕТЪР

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF LIQUID THERMOMETER

гл. ас. д-р Иванов, В.Г.
Технически университет – София, МФ, България
vgi@tu-sofia.bg

Abstract: This work on basis of literary studies and analysis of the author are examined the principle of action and dynamic characteristics of liquid thermometer. Below are shown the ways to determine the time constant that characterizes the dynamic properties of the thermometer. There have been some experimental studies on these characteristics.

Keywords: Thermometer, Measurement of Temperature

1. Въведение

Температурата е физична величина, пропорционална на средната кинетична енергия на частиците (напр. молекули), съставлящи веществото, когато то е в термично равновесие [2]. Прякото измерване на енергията на молекулите е трудно осъществимо, поради което за температурата се съди по връзката ѝ с различни свойства на веществата – топлинно разширение, интензивност на излъчване и пр. При измерване на температурата е необходимо да се приема съответна скала, характеризираща се с начало (нула) и големина на единицата (градуса).

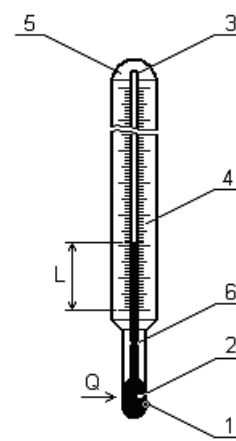
При пренебрежимо малка скорост на изменение на входната (измерваната) величина x , в установен (стационарен) режим, свойствата на измервателните уреди се определят най-често чрез функцията на преобразуване (статичната характеристика), която се дава обикновено в явен вид $y = f(x)$, където y е изходният сигнал. В резултат на протичащите в уредите енергийни процеси, свързани с превръщането на потенциалната енергия в кинетична и обратно, както и с обмяната на енергия между отделните елементи, реалната характеристика може да се различава от статичната в различна степен, която зависи от инертността на уреда и определя неговите динамични свойства. Поведението на един измервателен уред във времето се характеризира най-пълно от неговото диференциално уравнение, то не дава нагледна представа за характера на протичащите процеси, а при определянето му често се срещат значителни трудности. Ето защо се използват допълнителни динамични функции и параметри, които могат да се определят експериментално. Такива са преходната и импулсната преходна функции, които са еднакво информативни, но първата се получава по-лесно по експериментален път. Преходната функция показва реакцията на уреда (изменението на изходния му сигнал) във времето, при прилагане на входа му на скокообразно изменение на измерваната величина. Според вида на преходната си функция, звената (уредите) биват колебателни, апериодични и др. Динамичните свойства на уредите в честотната област се изразяват най-често чрез амплитудно-честотната характеристика, представляваща отношението на амплитудните стойности на изходния сигнал и входната величина като функция на честотата на входната величина, когато последната се изменя по хармоничен закон. Тази характеристика се използва за определяне на работния честотен диапазон на уреда, съответно на неговата минимална и максимална гранична честота.

2. Устройство и принцип на действие

Течностните термометри са две разновидности – стъклен и с манометричен елемент [1]. Действието им се основава на различното разширение и изменение на обема на съд (стъклен

или от друг материал) и запълващата го (изцяло или частично) термометрична течност, определяща метрологичните характеристики (обхват, чувствителност и пр.) на уреда.

В стъкления термометър от фиг. 1 резервоарът 1 (мярка за обем), изработен от кварцово стъкло с малак α_c , е запълнен с термометрична течност 2 с голям α_c . При повишаване на температурата Q , обемът на течността се повишава повече от обема на резервоара и течността запълва частично капиларната тръбичка 3. Нивото L на стълба течност (над нулевата отметка на скалата 4) служи за определяне на температурата. По-голяма чувствителност се получава при по-тъсна капиларка и по-голям α_c на течността. Капиларната тръбичка представлява усилвател, позволяващ да се визуализират сравнително малки изменения в обема на течността. Елементите на термометъра са разположени в стъклен херметизиран корпус 5. В медицинските термометри капиларната тръбичка има стеснение 6 (запомнящо устройство), което пречи на течността да се върне в резервоара при понижаване на температурата. Така се фиксира максималната достигната стойност докато се отчита показанието. За връщането на течността в резервоара е необходимо да се преодолеят капиларните сили, което става чрез "стръскване" на термометъра.



Фиг.1 Устройство на течностен термометър

3. Динамични характеристики на течностен термометър

Живачният течностен термометър е типично апериодично звено [3]. При скокообразно изменение на входната величина (температурата θ_i) от θ_1 до θ_2 (фиг. 2a), изходният сигнал (показанията I_i на термометъра) се изменят съответно от I_1 до I_2 по експоненциален закон (фиг. 2b). Изходната величина се изменя със закъснение, зависещо от скоростта на предаване на топлината във времето, т.е.

$$dQ/dt = S\alpha(\theta_{cp} - \theta_T),$$

където:

- S, m^2 – активната площ на термометъра, контактуваща със средата, чиято температура се измерва;
- $\alpha, J/sKm^2$ – коефициент на топлопредаване, зависещ от вида на средата и скоростта на движението ѝ;
- θ_{cp} – измерваната температура (температурата на средата);
- θ_T – температурата на топлоприемника на термометъра.

Количеството топлина Q , предавано за време t от измерваната среда към термометъра е:

$$(1) dQ = s\alpha(\theta_{cp} - \theta_T)dt.$$

Изменението (нарастването) на топлината на термометъра може да се запише и чрез израза

$$(2) dQ = c_T V \rho_T d\theta_T,$$

където:

- $C_T, J/Kkg$ – специфична топлоемкост на термометъра (усреднено за живак и стъкло);
 - V, m^3 – обем на чувствителния елемент;
 - $\rho_T, kg/m^3$ – средна плътност на термометъра.
- Ако се приравнят (1) и (2) се получава

$$(3) \frac{c_T V \rho_T}{s\alpha} \frac{d\theta_T}{d\theta_{cp}} + \theta_T = \theta_{cp}.$$

Ако се приеме линейна статична характеристика на термометъра

$$l = k_T \theta_T,$$

(k_T е коефициент на пропорционалност), то (3) може да се запише във вида

$$(4) \tau \frac{dl}{dt} + l = k_T \theta_{cp},$$

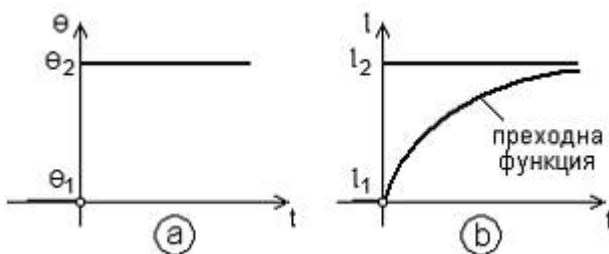
където $\tau = \frac{c_T V \rho_T}{s\alpha}$ е времеконстантата на термометъра.

При скокообразно изменение на температурата θ , изходната величина l се изменя във времето съгласно зависимостта

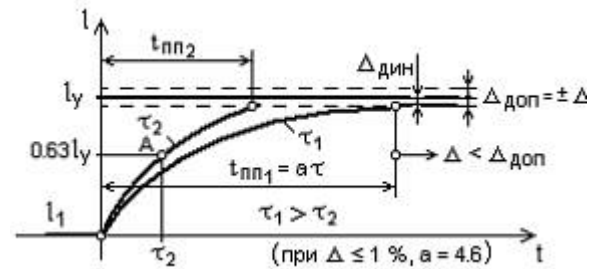
$$(5) l = l_y \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

където l_y е показанието на изходната величина, отговарящо на новата ѝ (установена) стойност (след скока) на входната.

На практика, динамичните свойства на термометъра се характеризират от времеконстантата τ . Чрез нея се определя времето за преходния процес $t_{пп}$ при зададена допустима динамична грешка $\pm \Delta$ (фиг. 3).



Фиг. 2 Входна и изходна величина
а – скок на входната величина; б – преходна функция



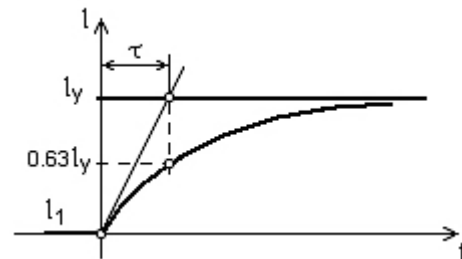
Фиг. 3 Времеконстанта τ , време на преходния процес $t_{пп}$, допустима грешка $\pm \Delta$

При известна преходна функция, времеконстантата τ може да се определи по два начина:

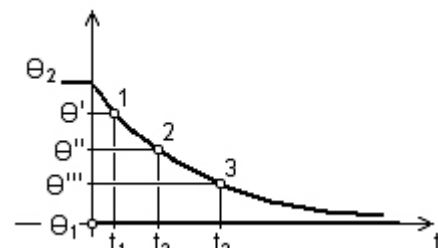
а) тангентата, прекарана към началото на кривата изразяваща преходната функция, отсича от правата l_y отсечка с дължина τ (фиг. 4);

б) ако в (5) се замени t с τ , получава се $l = 0.63 l_y$ (фиг. 3). Точка А от преходната функция има координати $l = 0.63 l_y$ и $t = \tau$.

И в двата случая за определяне на τ се използва преходната функция. Вторият случай е за предпочитане, поради големия брой измервания, необходими за точното построяване на преходната функция в първия случай, както и поради неточността на графичното прекарване на тангентата, особено в началото на кривата.



Фиг. 4 Определяне на τ чрез тангентата



Фиг. 5 Построяване на преходната функция

4. Опитна установка

Използваните технически средства са:

1. Образци от различни видове термометри и уреди за регулиране на температура;

2. Живачен термометър

- обхват на измерване: $-30^\circ C - +50^\circ C$;
- стойност на делението: $1^\circ C$;
- клас на точност: 1;
- потопяема част при градуирането: 160 mm.

3. Секундомер

- стойност на делението: 0.01 s;

4. Съдове (термостати) с топла и студена вода и с въздух с известни (задавани) температури:

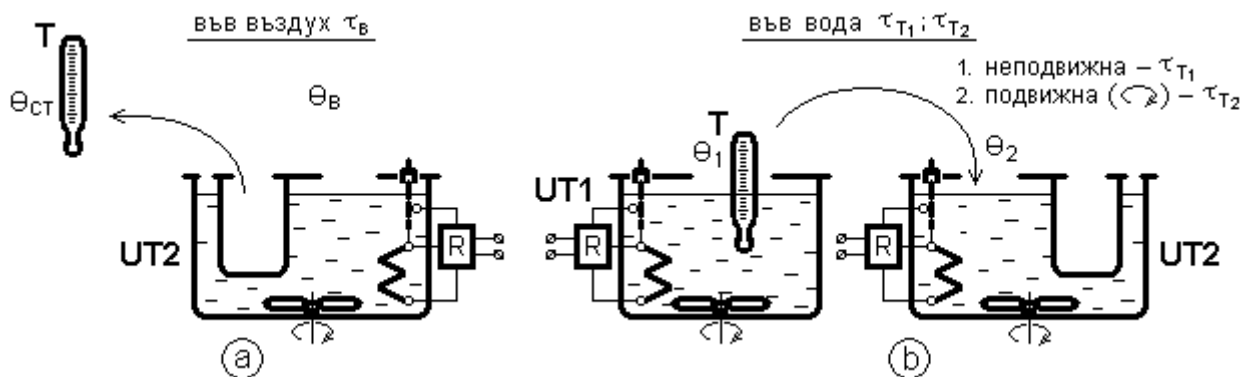
1. UT1

- обем на течността: 15 l;
- температурен обхват: $-60^\circ C - +260^\circ C$;
- неизменност на температурата: $\Delta T = \pm 0.05 K$ ($\Delta \theta = \pm 0.05^\circ C$);

2. UT2 – UTU-4

- обем на течността: 15 l;
- обем на въздуха: 2 l;
- температурен обхват: $-30^{\circ}\text{C} - +200^{\circ}\text{C}$;
- неизменност на температурата: $\Delta\theta = \pm 0.1^{\circ}\text{C}$;

Опитната постановка е показана схематично на фиг. 6а за въздух и на фиг. 6б – за неподвижна и подвижна вода. Съдовете UT1 и UT2 са снабдени с нагреватели, регулируеми по показанията на електроконтактни термометри и с възможност за разбъркване (движение) на течността.



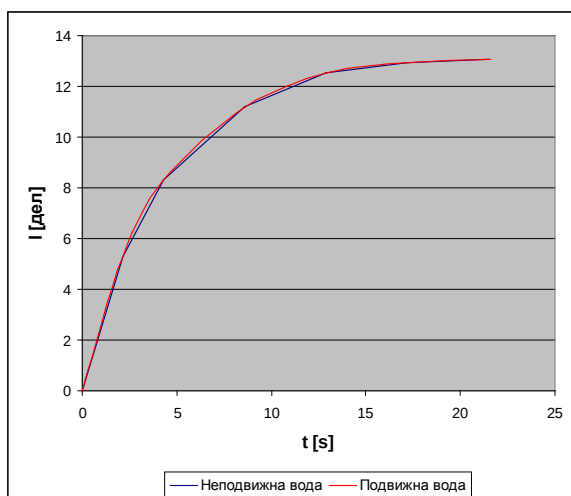
Фиг. 6 Схема на опитната постановка
а – за въздух; б – за неподвижна (1) и подвижна (2) вода

Таблица 1: Резултати от проведените експерименти

Вид на флуида	Изм. №	$\theta_1, ^{\circ}\text{C}$	$\theta_2, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta, ^{\circ}\text{C}$	$0.63\Delta\theta, ^{\circ}\text{C}$	I_v , дел.	τ , s	T_{III} , s
Неподвижна вода	1	17	30	13	8,19	13	5,48	25,2
	2	17	30	13	8,19	13	5,04	23,19
	3	17	30	13	8,19	13	4,47	20,56
	4	17	30	13	8,19	13	4,33	19,91
	5	16	30	14	8,82	14	4,03	18,56
	Средно:			13,20	8,32	13,20	4,30	21,48
Подвижна вода	1	16	30	14	8,82	14	5,67	26,1
	2	17	30	13	8,19	13	5,11	23,5
	3	17	30	13	8,19	13	4,38	20,15
	4	17	30	13	8,19	13	4,16	19,15
	5	17	30	13	8,19	13	4,13	19,01
	Средно:			13,20	8,32	13,20	4,32	21,58
Въздух	1	17,5	30	12,5	7,88	12,5	5,76	26,5

5. Експериментални резултати

Резултатите от проведените експерименти са дадени в таблица 1, а графичното изображение на динамичните характеристики е показано на фиг. 7.



Фиг. 7 Графично изображение на динамичните характеристики на течностен термометър

6. Заключение

Резултатите от проведените експерименти показват, че живачният течностен термометър е типично апериодично звено. При скокообразно изменение на входната величина от θ_1 до θ_2 (фиг. 7), изходният сигнал (показанията I_i на термометъра) се изменят съответно от I_1 до I_2 по експоненциален закон (фиг. 7). Изходната величина се изменя със закъснение, зависещо от скоростта на предаване на топлината във времето.

7. Литература

1. Троянов, Б.П. Уреди за измерване на физико-механични величини, София, ПБ на ВМЕИ-София, 1990.
2. International Vocabulary of Metrology (VIM3), ISO, 2008.
3. Figliola R., D. Beasley. Theory and Design for Mechanical Measurements, New York, John Wiley & Sons, 2011.