



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **98777** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01N 25/16** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

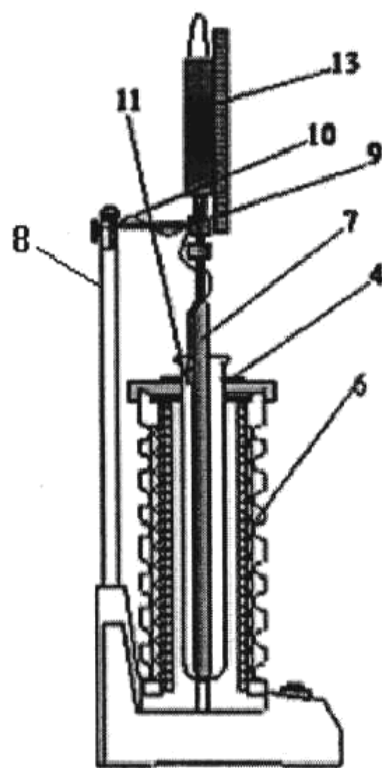
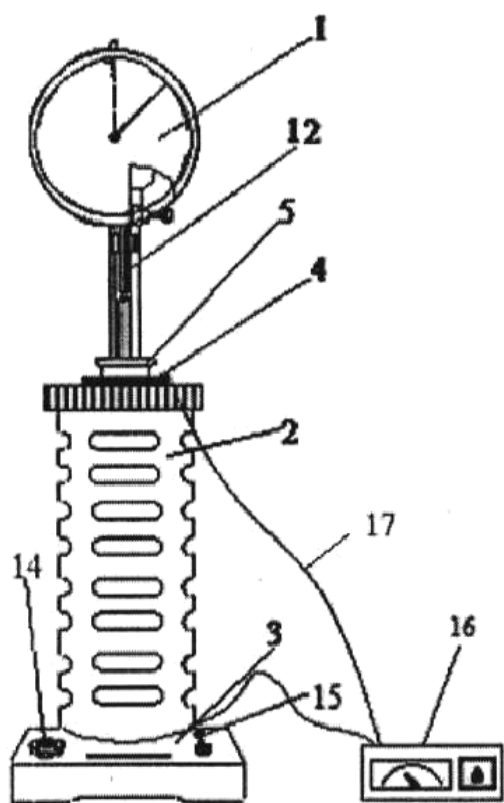
<p>(21) Номер заявки: <b>u 2014 11517</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>23.10.2014</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.05.2015</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.05.2015, Бюл.№ 9</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Свідерський Владислав Петрович (UA), Яремчук Василь Сергійович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)</b></p>
---	--

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕПЛОГО РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ**

**(57) Реферат:**

Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл полягає в нагріванні зразка з досліджуваного матеріалу, вимірювання температури і зміни його довжини на заданій базі. Застосовують пристрій для термостатування DigiCOP і рідину для охолодження "Тосол А-40" (температура кипіння 120 °С), на 4/5 заповнюють скляну пробірку з досліджуваним зразком і цим забезпечують його рівномірний нагрів до 100 °С. Більш точне визначення зміни довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) отримують за рахунок використання більш точної важільно-зубчастої головки 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм.

UA 98777 U



Корисна модель належить до способу визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл і може бути використана у компресоробудуванні, автомобілебудуванні та загальному машинобудуванні для дослідження теплового розширення матеріалів, а також у навчальному процесі.

5 До прикладу, при використанні ущільнюючих елементів з неметалевих матеріалів у компресорах, які працюють без змащення, необхідно детально визначати та розраховувати теплові зазори в ущільненнях. Інакше, при роботі компресора, ущільнення в результаті теплового розширення може вийти з ладу [1].

10 Відомий спосіб для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення (КЛТР) твердих тіл [2], із незначним розширенням, і який використовується у коксохімічній та скляній галузях промисловості, де діапазон вимірювання КЛТР становить  $2 \cdot 10^{-8}$ - $5 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup>.

Також відомий спосіб для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих зразків вуглецевих матеріалів у діапазоні температур 20-600 °С, який має діапазон вимірювання КЛТР  $(0,5-15) \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup> і який реалізується за допомогою установки ДКТ-40 [3].

15 Недолік цих способів полягає у тому, що область їх застосування обмежена діапазоном вимірювання КЛТР.

Відомий спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення композиційного матеріалу [4]. Недоліком цього способу є те, що він застосовується для вимірювання КЛТР листового композиційного матеріалу у порівнянні із зразком листового металевого еталонного матеріалу, з відомим коефіцієнтом лінійного теплового розширення. Однак, виготовлення листових композиційних матеріалів однакової щільності, а особливо композиційних матеріалів на основі фторо-пласта-4 є досить складною та пов'язаною зі значними труднощами технологічною задачею [5]. Асортимент виготовлених таких матеріалів, в основному представлений у вигляді втулок або стрижнів.

25 Більш універсальним є спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл, який вибрано за прототип. До складу установки за цим способом входить: 1 - індикатор годинникового типу; 2 - захисний кожух; 3 - корпус; 4 - прокладка; 5 - скляна пробірка; 6 - нагрівач; 7 - досліджуваний зразок; 8 - стійка; 9 - кронштейн; 10 - гвинт; 12 - шток; 13 - рухома поворотна шкала; 14 - індикаторна лампа; 15 - кнопка вимикача [6].

30 Твердотільний досліджуваний зразок нагрівають у воді, що залита у скляну пробірку 5. Зміна довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) вимірюється індикатором годинникового типу 1, який має рухомий шток 12, що переміщується у вертикальній площині вгору чи вниз. Прилад складається з корпусу 3, всередині захисного кожуха 2 якого розміщений нагрівач 6. При проведенні дослідів у нагрівач, через прокладку 4 та отвір у кришці приладу 11, вводять скляну пробірку із стрижнем 7. На корпусі приладу розміщена стійка 8 з кронштейном 9, який може повертатися навколо осі на 90°. Кронштейн фіксується за допомогою гвинта 10.

Спосіб визначення коефіцієнта лінійного розширення [6] має такі недоліки:

40 а) в зв'язку з відсутністю термостатування зразка, його застосовують переважно для визначення середнього коефіцієнта лінійного розширення ізотропних речовин - металів;

б) зміна довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) вимірюється індикатором годинникового типу з ціною поділки шкали 0,01 мм, що недостатньо для точного вимірювання, особливо у випадку малих значень КЛТР.

45 Задачею корисної моделі є розширення функціональних можливостей та підвищення його точності вимірювання. Це вирішується тим, що за цим способом застосовують термостатуючий пристрій DigiCOP і рідину для охолодження "ТосолА-40" [7] (температура кипіння якого 120 °С), і яка на 4/5 заповнює скляну пробірку з досліджуваним зразком та дозволяє забезпечити його рівномірний нагрів до 100 °С, а більш точне визначення зміни довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) досягається за рахунок заміни індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм на важільно-зубчасту головку 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм.

Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення за цим способом виконується з достатньо високою точністю для твердих тіл - металів і неметалів.

55 Технічна характеристика цифрового терморегулятора DigiCOP: точність вимірювання температури -0,1 °С, точність її відображення -0,1 °С, діапазон вимірювання - від -55 °С до +125 °С, робоча напруга - 140-250 В, максимальний струм навантаження - 10 А.

На кресленні зображена установка для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл, де: 1 - важільно-зубчаста головка; 2 - захисний кожух; 3 - корпус; 4 - прокладка; 5 - пробірка; 6 - нагрівач; 7 - досліджуваний зразок; 8 - стійка; 9 - кронштейн; 10 -

гвинт; 11 - кришка; 12 - шток; 13 - рухома поворотна шкала; 14 - індикаторна лампа; 15 - кнопка вимикача; 16 - термостатуючий пристрій; 17 - термопара.

Твердотільний досліджуваний зразок 7, що розміщений у скляній пробірці 5, нагрівають в охолоджувальній рідині "Тосол А-40" (з температурою кипіння 120 °С) до температури 100 °С. Після цього за допомогою пристрою для термостатування DigiCOP 16, з термопарою 17, зразок витримують при цій температурі протягом п'яти хвилин. Зміну довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) вимірюють за допомогою важільно-зубчастої головки 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм і діапазоном вимірювань 0-2 мм, з рухомих штоком 12, що може переміщатися у вертикальній площині.

Ступінь розширення твердого тіла визначається коефіцієнтом лінійного теплового розширення.

Коефіцієнт лінійного теплового розширення  $\alpha$  чисельно дорівнює відносній зміні лінійних розмірів тіла  $\frac{\Delta L}{L}$ , зумовлених зміною його температури на 1К:

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad (1)$$

Оскільки  $\alpha = f(T)$ , то формула (1) дозволяє визначити тільки середнє значення  $\bar{\alpha}$  для заданого інтервалу зміни температури  $\Delta T$ .

Коефіцієнт лінійного теплового розширення при заданій температурі  $T$ , визначений для безмежно малого інтервалу температури  $dT$ , називають істинним:

$$\alpha_i = \frac{dL}{L} \cdot \frac{1}{dT} \quad (2)$$

Розв'язок диференціального рівняння (2) має вигляд:  $\ln L = \alpha T + C$ . Константу інтегрування  $C$  знаходимо з початкових умов, коли  $T = 0$ , а  $C = \ln L_0$ .

Отже, основне рівняння залежності довжини твердих тіл від температури має вигляд:

$$L = L_0 e^{\alpha T} \quad (3)$$

де  $L$  - довжина тіла за температури  $T$ ;  $L_0$  - довжина тіла за абсолютного нуля температури.

Експериментально встановлено, що коефіцієнт  $\alpha$  не є постійною величиною, а виступає як функція температури, що особливо помітно за її низьких значень.

З рівняння (3) зрозуміло, що зі зміною температури довжина тіла змінюється за експоненціальним законом. Однак на практиці частіше всього використовують наближену формулу, яку одержують при розкладанні виразу  $e^{\alpha T}$  в ряд.

При  $\alpha T \ll 1$ , маємо:  $e^{\alpha T} = 1 + \alpha T + \dots$

Нехтуючи членами із степенями, вище перших за температурою, отримаємо наступний вираз:

$$L = L_0(1 + \alpha T).$$

Оскільки довжина досліджуваного тіла  $L_0$  за абсолютного нуля практично не може бути визначена, то зручно, використовуючи експоненціальний закон, знайти довжину тіла  $L_1$  та  $L_2$  за довільних температур:  $L_1 = L_0 e^{\alpha T_1}$  та  $L_2 = L_0 e^{\alpha T_2}$ , звідки випливає, що  $L_2 = L_1 e^{\bar{\alpha} \Delta T}$  або наближено:

$$L_2 = L_1 (1 + \bar{\alpha} \Delta T) \quad (4)$$

де  $\bar{\alpha}$  - середній коефіцієнт лінійного розширення тіла в інтервалі зміни температури  $\Delta T$ .

На практиці, частіше за величину  $T_1$  приймають температуру танення льоду при нормальних умовах, тобто 273,15 К (або  $t = 0$  °С), а за  $L_1$  - відповідно довжину тіла  $L_0$  при температурі  $T_1$ . Тоді довжина тіла  $L$  за будь-якої температури  $t$  (за шкалою Цельсія) може бути визначена за допомогою рівняння:

$$L = L_0(1 + \bar{\alpha} t) \quad (5)$$

Встановивши експериментально  $\bar{\alpha}$  будь-якого заданого твердого тіла, можна на основі закону Гука розрахувати деформації та напруження, які виникають у деталях та конструкціях при їх тепловому розширенні. Оскільки  $\bar{\alpha}$  залежить від температури  $T$ , то в багатьох практично важливих випадках виникає потреба експериментально дослідити цю залежність.

Приклад виконання способу

1. Пробірки з комплекту приладу наповнюють рідиною для охолодження "Тосол А-40" на 4/5 її об'єму (за кімнатної температури) і опускають у кожну з них досліджуваний стрижень, сферичним кінцем донизу, після чого лабораторним термометром вимірюють температуру води  $t_1$ .

2. У кронштейн 9 встановлюють важільно-зубчасту головку 2МИГ і повертають її на чверть обороту в бік, до упору. Пробірку з досліджуваним стрижнем через гумову прокладку 4 та отвір у кришці приладу 11 вносять у нагрівач. Після цього встановлюють у пробірку термометр 17."

3. Відтягують шток важільно-зубчастої головки і встановлюють її над пробіркою, повертаючи кронштейн до упору в протилежному напрямі. Опускають шток у заглиблення на торці стрижня, фіксуючи кронштейн гвинтом.

4. За допомогою рухомої поворотної шкали важільно-зубчастої головки 13, встановлюють стрілку на нульову поділку. Після цього вмикають прилад в електромережу (світиться індикаторна лампа 14).

5. Зміну довжини зразка  $\Delta L$  визначають за відхиленням стрілки важільно-зубчастої головки від початкового положення, після термостатування зразка при температурі 100 °С протягом п'яти хвилин. Для більш правильного визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення ( $\bar{\alpha}$ ) виконують 3-5 відліків з точністю до половини ціни поділки шкали важільно-зубчастої головки 2МИГ (1 мкм).

6. Кнопкою вимикача 15 вимикають живлення приладу, виймають нагріту пробірку із зразком. Повторюють операції пп. 1-5 для іншого зразка, а результати вимірювань заносять у таблицю.

Обробка результатів

1. Після закінчення роботи з приладом визначають чисельне значення коефіцієнта лінійного теплового розширення зразка за формулою:

$$\alpha_i = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L}{L_1(t_2 - t_1)}, \quad (6)$$

де  $t_1$  та  $t_2$  - початкова та кінцева температура тіла, °С;  $L_1$  та  $L_2$  - довжина тіла, що відповідає цим температурам, мм;  $\Delta L$  - зміна довжини тіла, мм.

2. Визначають вибіркове середнє значення коефіцієнта лінійного теплового розширення зразків:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n} \quad (7)$$

де  $\alpha_i$  - коефіцієнт лінійного теплового розширення за даними одного заміру;  $n$  - кількість замірів.

3. Знаходять вибіркиму дисперсію і середнє квадратичне відхилення коефіцієнта лінійного теплового розширення:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2, \quad (8)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (8, a)$$

4. Визначають вибірковий коефіцієнт варіації:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\bar{\alpha}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Приклад 1. Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення металевого зразка. Металевий стрижень (сталь 45) довжиною  $L=160$  мм, встановлюють у скляну пробірку на 4/5 наповнену рідиною "Тосол А-40", при температурі  $t_1=20$  °С. Результати п'яти дослідів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	$\Delta L_i, \text{ mm}$	$\alpha_i, \times 10^{-6}, 1/\text{K}$	$\bar{\alpha} \times 10^{-6}, 1/\text{K}$	$\sigma^2, \times 10^{-12}, 1/\text{K}^2$	$\sigma, \times 10^{-6}, 1/\text{K}$	$\gamma, \%$
1	0,152	11,88	12,14	0,0342	0,1849	1,52
2	0,156	12,19				
3	0,154	12,03				
4	0,157	12,27				
5	0,158	12,34				

У техніці, як ущільнюючі елементи компресорів і насосів, широко застосовують матеріали на основі фторопласта-4 [8]. Технологічною особливістю виготовлення заготовок антифрикційних

деталей на його основі є те, що наявна оснастка дозволяє отримувати вироби довжиною, що не перевищують 80 мм. У зв'язку з цим, для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення таких матеріалів пропонується досліджувати стрижні довжиною 75 мм, які встановлюються сферичним кінцем донизу у скляну пробірку відповідної довжини.

5 Приклад 2. Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерного антифрикційного матеріалу Ф4УВ20 [8]. Результати п'яти дослідів наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	$\Delta L_i, \text{ mm}$	$\alpha_i, \times 10^{-6}, 1/\text{K}$	$\bar{\alpha} \times 10^{-6}, 1/\text{K}$	$\sigma^2, \times 10^{-12}, 1/\text{K}^2$	$\sigma, \times 10^{-6}, 1/\text{K}$	$\gamma, \%$
1	0,861	67,3	66,94	0,608	0,780	1,16
2	0,845	66,0				
3	0,870	68,0				
4	0,850	66,4				
5	0,858	67,0				

10 Отже, запропонований спосіб для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл дає можливість виконувати їх дослідження, включно, як для металів, так і неметалів, причому точність досліджень зростає для металевого зразка (сталь 45) і антифрикційного полімеру Ф4УВ20 відповідно у 1,92 та 3,16 разів.

Джерела інформації:

15 1. Поршневые компрессоры / Б.С. Фотин, И.Б. Пирумов, И.К. Прилуцкий, П.И. Пластинин. - Л.: Машиностроение, 1987. - 372 с.

2. Пат. № 2089890 Российская Федерация, МПК G01N25/16, МПК G01D9/02. Итерференционный dilatometer для измерения малорасширяющихся твердых материалов / А.Н. Аматыни, Т.А. Компан, Г.Х. Тагабилев, В.И. Шувалов, В.В. Мо-чалов; заявитель и патентообладатель АО "Уральский электродный институт". - № 93009002/28; заявл. 16.02.1993, опубл. 10.09.1997.

3. Дилатометр ДКТ-40 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [granat-e.ru/dkt-40.html](http://granat-e.ru/dkt-40.html)

25 4. Пат. № 2111480 Российская Федерация, МПК G01N25/16. Способ определения температурного коэффициента линейного расширения композиционного материала / В.Ф. Кутыинов, Ю.С. Ильин; заявитель и патентообладатель ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского. - № 97111652/25; заявл. 07.07.1997, опубл. 20.05.1998.

5. Пугачев А. К. Переработка фторопластов в изделия: Технология и оборудование / А.К. Пугачев, О.А. Росляков. - Л.: Химия, 1987. - 168 с.

6. Кортнев А.В. Практикум з фізики / А.В. Кортнев, Ю.В. Рубанов, А.Н. Куценко. - К.: Вища школа, 1993. - С. 154-156.

30 7. Милованов А.В. Топливо и смазочные материалы: учеб. пособие / А.В. Милованов, С.М. Ведищев. - Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2003. - 80 с.

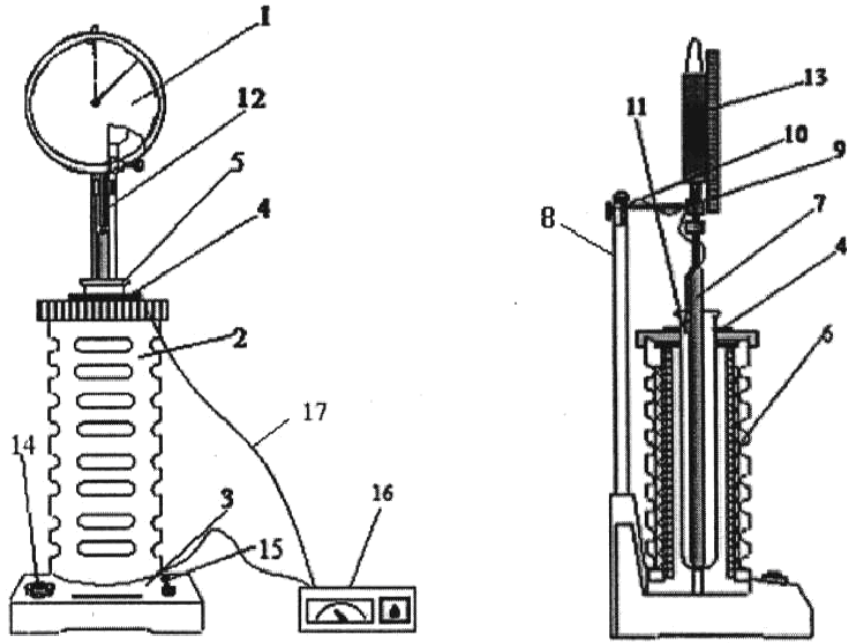
8. Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики / Г.А. Сиренко. - К.: "Техніка", 1985.-195 с.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

35

Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл, що полягає в нагріванні зразка з досліджуваного матеріалу, вимірювання температури і зміни його довжини на заданій базі, який **відрізняється** тим, що застосовують пристрій для термостатування DigiCOP і рідину для охолодження "Тосол А-40" (температура кипіння 120 °С), на 4/5 заповнюють скляну пробірку з досліджуваним зразком і цим забезпечують його рівномірний нагрів до 100 °С, а більш точно визначення зміни довжини нагрітого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) отримують за рахунок використання більш точної важільно-зубчастої головки 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм.

40



---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601