

TEKNIKA FANLARI / TECHNICAL SCIENCE

UO‘K 662.997

FAZAVIY O‘TUVCHI MATERIALLARNING ISSIQLIK SIG‘IMI VA ISSIQLIK  
O‘TKAZUVCHANLIK KOEFFITSIYENTINI T-HISTORY USULIDAN FOYDALANIB  
ANIQLASH

**Ochilov Laziz Ibodovich**<sup>1</sup> – katta o‘qituvchi,

ORCID: 0000-0001-8803-5512, E-mail: [l.i.ochilov@buxdu.uz](mailto:l.i.ochilov@buxdu.uz)

**Davlonov Xayrulla Allamurotovich**<sup>2</sup>-- texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

ORCID: 0009-0000-1809-7056, E-mail: [nasiba03002@gmail.com](mailto:nasiba03002@gmail.com)

**Mirzayev Mirfayz Salimovich**<sup>1</sup>-- texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dotsent,

ORCID: 0000-0002-6165-2358, E-mail: [m.s.mirzayev@buxdu.uz](mailto:m.s.mirzayev@buxdu.uz)

**Samiyev Kamoliddin A‘zamovich**<sup>1</sup>-- fan doktori (DSc), katta ilmiy xodim,

ORCID: 0000-0002-3338-6208, E-mail: [k.a.samiyev@buxdu.uz](mailto:k.a.samiyev@buxdu.uz)

<sup>1</sup>Buxoro davlat universiteti, Buxoro sh., O‘zbekiston

<sup>2</sup>Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

**Annotatsiya.** Butun dunyoda energiyaga bo‘lgan talabning ortishi, ananaviy yoqilg‘i resurslarini yer sharida bir xilda taqsimlanmaganligi, ulardan foydalanganda karbonat anhidrid gazlarining atrof muhitga salbiy taʼsirining yuqoriligi, bugungi kunda quyosh energiyasidan foydalanish imkoniyatlarini oshiruvchi va olingan energiyani akkumulyatsiya qiluvchi moddalarning solishtirma issiqlik sig‘imini aniqlash hamda fazaviy o‘tuvchi materiallarni xususiyatidan kelib chiqqan holda quyosh qurilmalariga foydalanish energiya taqchilligini oldinini olishning samarali bir yo‘li hisoblanadi.

Ushbu maqolada fazaviy o‘tuvchi materiallardan biri bo‘lgan parafinning suyuq va qattiq holatdagi solishtirma issiqlik sig‘imi va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti laboratoriya sharoitida tajribalar o‘tkazilganda olingan natijalar, hamda nazariy hisoblashlar yordamida aniqlangan.

Maqolada mualliflar tomonidan laboratoriya sharoitida tajribaviy tadqiqotlar o‘tkazish natijasida fazaviy o‘tuvchi material (FO‘M) ning issiqlik xossalari T-history usuli yordamida aniqlangan. Bunda moddalar issiqlik quvvatlarini tajribaviy tadqiqot qilish, issiqlik-texnik parametrlarini aniqlash va hisoblash usullaridan foydalanilgan.

Mualliflar tomonidan tajribadan olingan natijalar asosida parafinning suyuq ( $c_{p,l}$ ) va qattiq ( $c_{p,s}$ ) holatdagi solishtirma issiqlik sig‘imi, sintez issiqligi ( $H_m$ ) va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti ( $k_s$ ) aniqlangan. Hisoblashlar natijasiga ko‘ra parafinning suyuq holatdagi solishtirma issiqlik sig‘imi  $c_{p,l}=3545 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , qotish jarayonida solishtirma issiqlik sig‘imi  $c_{p,s}=5288 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , sintez issiqligi  $H_m=256 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$  va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $k_s=0.168 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  ga teng bo‘lishi aniqlangan.

Parafinning suyuq  $c_{p,l}$  va qattiq  $c_{p,s}$  holatdagi solishtirma issiqlik sig‘imi va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $k_s$  aniqlangan. FO‘M larning qotish jarayoni (faza o‘zgarish jarayoni)da solishtirma issiqlik sig‘imi  $60 \text{ k J/(kg}\cdot\text{K)}$  gacha ortib borishi aniqlangan. Solishtirma issiqlik sig‘imining eng yuqori nuqtasidagi harorat shu material uchun erish va qotish harorati ekani ko‘rsatilgan. Quyosh qurilmarini uzluksiz rejimda ishlashini taminlash maqsadida issiqlik yig‘uvchi material sifatida parafinning issiqlik-texnik parametrlari o‘rganilgan.

**Kalit so‘zlar:** fazaviy o‘tuvchi material, issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Stefan soni, Bio soni, T-history usuli, solishtirma issiqlik sig‘imi, sintez issiqligi, konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti, harorat sensori.

УДК 662.997

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА МЕТОДОМ T- HISTORY

**Очилов Лазиз Ибодович<sup>1</sup>** – старший преподаватель

**Давлонов Хайрулла Алламуротович<sup>2</sup>**- доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

**Мирзаев Мирфайз Салимович<sup>1</sup>**- доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

**Самиев Камолиддин Аъзамович<sup>1</sup>**- доктор наук (DSc) старший научный сотрудник

<sup>1</sup>Бухарский государственный университет, г. Бухара, Узбекистан

<sup>2</sup>Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** Увеличение спроса на энергию во всем мире, неравномерное распределение традиционных топливных ресурсов по всему земному шару, высокое негативное воздействие углекислых газов на окружающую среду при их использовании, определяющее относительную теплоемкость материалов, повышающие возможности использования солнечной энергии и накопления полученной энергии, а также использование материалов фазового перехода для солнечных устройств является эффективным способом предотвращения дефицита энергии.*

*В этой статье были определены удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности парафина, одного из материалов с фазовым переходом, как в жидком, так и в твердом состоянии, с использованием результатов, полученных при проведении экспериментов в лабораторных условиях, а также теоретических расчетов.*

*В статье термические свойства материала фазового перехода (МФП) определены методом T-history в результате экспериментальных исследований, проведенных авторами в лабораторных условиях. При этом использовались методы экспериментального исследования теплоемкостей веществ, определения и расчета теплотехнических параметров.*

*На основании результатов, полученных авторами в эксперименте, были определены удельная теплоемкость, теплота плавления ( $H_m$ ) и коэффициент теплопроводности ( $k_s$ ) парафина в жидком ( $c_{p,l}$ ) и твердом ( $c_{p,s}$ ) состоянии. Согласно расчетам, удельная теплоемкость парафина в жидком состоянии  $c_{p,l}=3545$  Дж/(кг·К), удельная теплоемкость при затвердевании  $c_{p,s}=5288$  Дж/(кг·К), теплота плавления  $H_m= 256 \cdot 10^3$  Дж/кг, а коэффициент теплопроводности оказался равным  $k_s=0,168$  Вт/(м·К).*

*Определены удельная теплоемкость и коэффициент теплоотдачи  $k_s$  парафина в жидком  $c_{p,l}$  и твердом  $c_{p,s}$  состояниях. Установлено, что удельная теплоемкость в процессе затвердевания (процесса фазового перехода) фазопереходных материалов увеличивается до 60 к Дж/(кг·к). Показано, что температура в самой высокой точке удельной теплоемкости является температурой плавления и затвердевания этого материала. С целью обеспечения непрерывной работы солнечных устройств были изучены теплотехнические параметры парафина как теплоаккумулирующего материала.*

***Ключевые слова:** материал фазового перехода, коэффициент теплопередачи, число Стефана, число Био, метод T- history, удельная теплоемкость.*

UDC: 662.997

## DETERMINATION OF HEAT CAPACITY AND HEAT CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF PHASE TRANSITION MATERIALS USING THE T-HISTORY METHOD

**Ochilov, Laziz Ibodovich<sup>1</sup>** – Senior lecturer

**Davlonov, Khayrulla Allamurotovich<sup>2</sup>**- Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, associate professor

**Mirzaev, Mirfayz Salimovich<sup>1</sup>**- Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, associate professor

**Samiev, Kamoliddin Azamovich**<sup>1</sup>- Doctor of Science (DSc) is a senior researcher,

<sup>1</sup>Bukhara State University, Bukhara city, Uzbekistan

<sup>2</sup>Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi city, Uzbekistan

**Abstract.** *It is known that the demand for energy in the world is increasing, traditional fuel resources are not evenly distributed on the globe, and the negative impact of carbon dioxide gases on the environment is high when using them. Today, determining the relative heat capacity of substances that increase the possibilities of using solar energy and accumulate the obtained energy, as well as the use of phase change materials for solar devices is an effective way to prevent energy shortages.*

*In this article, the specific heat capacity and heat transfer coefficient of paraffin, which is one of the phase change materials, in liquid and solid state, is determined by the results obtained during experiments in laboratory conditions, as well as theoretical calculations.*

*In this article, as a result of experimental research conducted by the authors in laboratory conditions, the thermal properties of phase change material (PCM) were determined using the T-history method. In this case, methods of experimental research of heat capacities of substances, determination and calculation of heat-technical parameters were used.*

*Based on the results obtained by the authors from the experiment, the relative heat capacity of paraffin in liquid ( $c_{p,l}$ ) and solid ( $c_{p,s}$ ) state, heat of synthesis ( $H_m$ ) and heat transfer coefficient ( $k_s$ ) were determined. According to the calculations, specific heat capacity of paraffin in liquid state  $c_{p,l}=3545 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , specific heat capacity during solidification  $c_{p,s}=5288 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , fusion heat  $H_m=256 \text{ 103 J/kg}$  and the coefficient of thermal conductivity was found to be equal to  $k_s=0.168 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .*

*The specific heat capacity and heat transfer coefficient  $k_s$  of paraffin in liquid  $c_{p,l}$  and solid  $c_{p,s}$  states were determined. It was determined that during the solidification process (phase change process) of PCMs, the specific heat capacity increases up to  $60 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ . It is shown that the temperature at the highest point of relative heat capacity is the melting and solidification temperature for this material. In order to ensure the continuous operation of solar devices, the thermal technical parameters of paraffin as a heat collecting material were studied.*

**Key words:** *phase change material (PCM), heat transfer coefficient, Stefan number, Biot number, T-history method, specific heat capacity.*

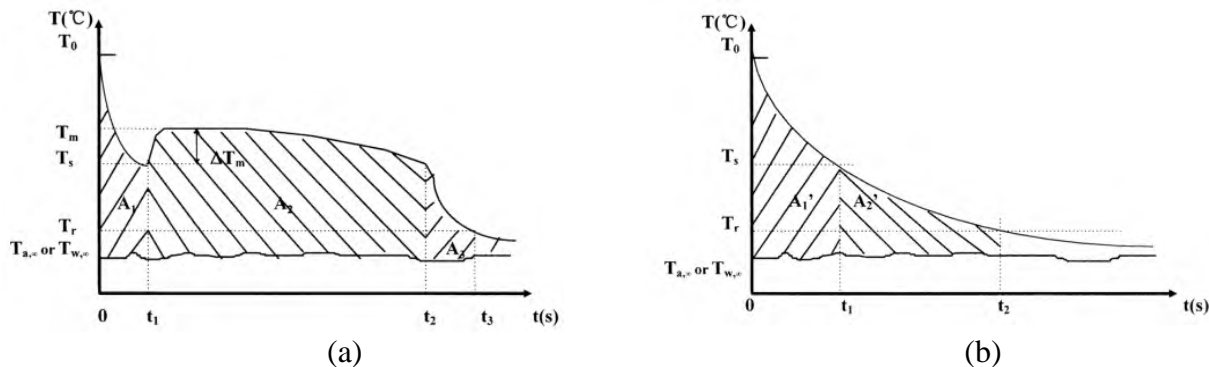
## Kirish

Jahonda turar joy binolariga sarflangan energiya miqdori umumiy energiyaga nisbati so‘nggi 3 yilda ortib boryapti. Xususan 2021-yilda bu ko‘rsatgich 21,5% ni tashkil etadi. O‘zbekistonda turar-joy binolarida sarflangan energiya umumiy energiyaning qariyb 40% ini tashkil qiladi [1]. Turar joy binolarini isitish va sovutish uchun energiya sarfini kamaytirish maqsadida qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish va olingan energiyani akkumulyatsiya qilish katta ahamiyat kasb etadi [2]. Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan olingan issiqlik energiyasini to‘plash va saqlash bu tizimning eng katta muammolaridan biri hisoblanadi [3]. Buning uchun energiyani o‘zida saqlab turadigan moddalarni izlab topish zarur. Moddalarning solishtirma issiqlik sig‘imini aniqlash va FO‘M larini qo‘llash masalaning yechimlaridan biridir. FO‘M larning issiqlik sig‘imini aniqlashning bir necha usullari mavjud. DTA (Differential thermal analysis) va DSC (Differential scanning calorimeters) o‘lchash qurilmalari murakkab va qimmat. Shu bilan birga bu qurilmalarda bir vaqtning o‘zida bir nechta namunaning tahlilini olib bolmaydi. Shuning uchun oddiy T-history usulidan foydalanish maqsadga muvofiq [4].

Mazkur tadqiqot ishida asosiy maqsad T-history usulidan foydalanib, ya’ni solishtirma issiqlik sig‘imi aniq bo‘lgan suyuqlik bilan taqqoslash orqali fazaviy o‘tuvchi materialning solishtirma issiqlik sig‘imi va issiqlik o‘tkazuvchanligini aniqlashdir.

Ikkita bir xil  $T_0$  haroratdagi ( $T_0 < T_m$   $T_m$ -erish va qotish harorati) fazaviy o'tuvchi va solishtirma issiqlik sig'imi ma'lum bo'lgan moddalarning haroratini pasaytirib borish orqali FO'M ning suyuq va qattiq holatdagi solishtirma issiqlik sig'imini aniqlash mumkin. Bunday usullardan biri bu – T-history usuli hisoblanadi.

Erish haroratidan kichik  $T_a < T_{m2}$  haroratdagi havoda yoki suyuqlik ichida joylashgan FO'M va suv haroratlari asta-sekin pasaytirib boriladi. FO'M to'la qotib bo'lgangacha haroratning vaqtga bog'liqligi 1-rasmda ko'rsatilgan holda amalga oshiriladi. Fazaviy o'tuvchi materiallarni isitish qurilmalarida issiqlik akkumlatsiyalovchi vazifasida ishlatish mumkin [5].



1- rasm. Sovutish jarayonida moddalar haroratining vaqtga bog'liqligi: (a)- FO'M, (b)-suv (juda tez sovutilganda).

### Usul va materiallar

FO'M uchun moddaning harorat taqsimoti 1(a)-rasmdagi kabi bo'ladi. Agar  $Bi < 0,1$  ( $Bi$ -biot soni,  $Bi = hR/(2k)$ ,  $R$ - quvur radiusi,  $h$ - konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti,  $k$ - quvur materialining issiqlik uzatish koeffitsiyenti) bo'lsa, quvurda harorat taqsimoti bir xil deb hisoblanadi. U holda, issiqlik balansini quyidagicha yozish mumkin:

$$(m_t c_{p,t} + m_p c_{p,l})(T_0 - T_s) = hA_c A_1, \quad (1)$$

bunda,  $m_t$  va  $m_p$ - mos ravishda probirka va FO'M ning massalari;  $c_{p,t}$  va  $c_{p,l}$ -mos ravishda probirka va FO'M ning solishtirma issiqlik sig'imlari;  $T_0$  va  $T_s$  FO'M ning boshlang'ich va qotish haroratlari;  $h$ -havoning konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti;  $A_c$ -probirkaning issiqlik almashinish yuzasi

$$A_1 = \int_{t_0}^{t_1} (T_0 - T_a) dt$$

$$m_p H_m = hA_c A_2, \quad (2)$$

bunda,  $H_m$ - FO'M ning sintez issiqligi;

$$A_2 = \int_{t_1}^{t_2} (T_m - T_a) dt$$

$$(m_l c_{p,l} + m_p c_{p,s})(T_s - T_r) = hA_c A_3, \quad (3)$$

bunda,  $c_{p,s}$ - FO'M ning qattiq holatdagi solishtirma issiqlik sig'imi;  $T_r$ - tajriba oxiridagi harorat;

$$A_3 = \int_{t_2}^{t_3} (T_m - T_a) dt$$

Distillangan suvda haroratning vaqtga bog'liqligi 1(b)-rasmdagi kabi bo'ladi. U holda issiqlik balansi

$$(m_t c_{p,t} + m_w c_{p,w})(T_0 - T_s) = hA_c A_1', \quad (4)$$

bunda,  $m_w$  va  $c_{p,w}$  mos ravishda suvning massasi va solishtirma issiqlik sig'imi,

$$A_1' = \int_{t_0}^{t_1} (T_0 - T_a) dt$$

$$(m_t c_{p,t} + m_w c_{p,w})(T_s - T_r) = hA_c A_2'. \quad (5)$$

Haqiqatdan ham tuz oksidlarining barchasida  $Bi < 0,1$  va  $k_s > 0,2$  W/(m<sup>2</sup>K), demak (4) tenglama qanoatlantiradi.

(1) - (5) tenglamalardan quyidagilarni aniqlash mumkin

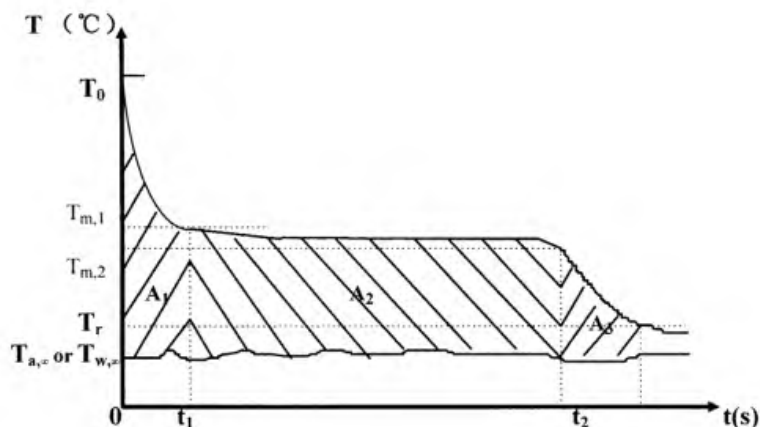
$$c_{p,s} = \frac{m_t c_{p,t} + m_w c_{p,w}}{m_p} \frac{A_3}{A'_2} - \frac{m_t}{m_p} c_{p,t} \quad (6)$$

$$c_{p,l} = \frac{m_t c_{p,t} + m_w c_{p,w}}{m_p} \frac{A_1}{A'_1} - \frac{m_t}{m_p} c_{p,t} \quad (7)$$

$$H_m = \frac{m_t c_{p,t} + m_w c_{p,w}}{m_p} \frac{A_2}{A'_1} (T_0 - T_s) \quad (8)$$

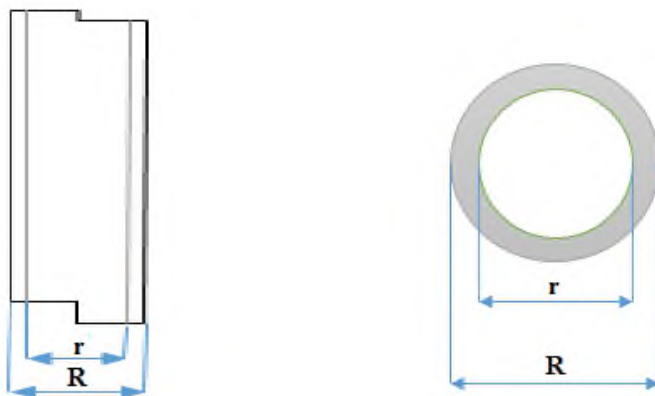
Moddalar juda tez sovutilmagan holatda, tajriba natijalari 2-rasmdagi ko‘rinishni beradi. U holda FO‘M ning sintez issiqligi quyidagicha aniqlanadi

$$H_m = \frac{m_t c_{p,t} + m_w c_{p,w}}{m_p} \frac{A_2}{A'_1} (T_0 - T_s) - \frac{m_t c_{p,t} (T_{m1} - T_{m2})}{m_p} \quad (9)$$



**2-rasm. Juda tez sovutilmagan FO‘M haroratining vaqtga bog‘lanishi.**

FO‘M ning suyuq va qattiq holatdagi issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi. FO‘M ning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini aniqlash uchun ikkita bir xil probirkaga bir xil hajmda suv va FO‘M solinib, sovuq suvli vannaga solinadi. Har ikkala bir xil  $T_0$  haroratdagi ( $T_0 < T_m$ , FO‘M ning  $T_m$ -erish va qotish harorati) faza o‘tuvchi va solishtirma issiqlik sig‘imi ma‘lum bo‘lgan moddalarning haroratini pasaytirib borish orqali FO‘M ning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti aniqlanadi [9].



**3-rasm. Probirkaning vertikal va ko‘ndalang holatdagi ko‘rinishi.**

Agar probirka uzunligining diametriga nisbati 15 dan katta bo‘lsa, 3-rasmdagi silindr uchun energiya tenglamasi

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right) = \frac{1}{\alpha_p} \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} \quad (\xi < r < R, t > 0) \quad (10)$$

Chegaraviy shartlarni quyidagicha berilsin

$$k_s \frac{\partial T}{\partial r} = h_w (T_a - T) \quad r=R, t>0$$

va dastlabki holatda

$$T(\xi = R) \cong T_m \quad t=0,$$

bunda,  $T(r,t)$  –  $r$  radiusli va  $t$  fazadagi harorat,  $\alpha_p$ - FO‘M ning harorat tarqalishi,  $\xi$  - FO‘M ning qattiq va suyuq fazalar orasidagi interfeys radiusi va  $h_w$  - sovuq suvning konvektiv issiqlik almashinish koeffitsiyenti.

FO‘M ning ikki bosqich o‘rtasidagi interfeys uchun

$$T(r=\xi)=T_m$$

$$k_s \frac{\partial T}{\partial r} = \rho_p H_m \frac{\partial \xi}{\partial t}$$

Yuqoridagi tenglamalarni yechimiga asosan quyidagicha  $k_s$  ni aniqlashimiz mumkin [6, 7].

$$k_s = \frac{\left[1 + \frac{c_{p,s}(T_m - T_a)}{H_m}\right]}{4 \left(\frac{t_f(T_m - T_a)}{\rho_p R^2 H_m} - \frac{1}{h_m R}\right)}, \quad (11)$$

bu yerda,  $k_s$ - qattiq holatdagi FO‘M ning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti,  $\rho_p$ - FO‘M ning zichligi,  $t_f$  - FO‘M ning to‘liq qotib qolish vaqti.

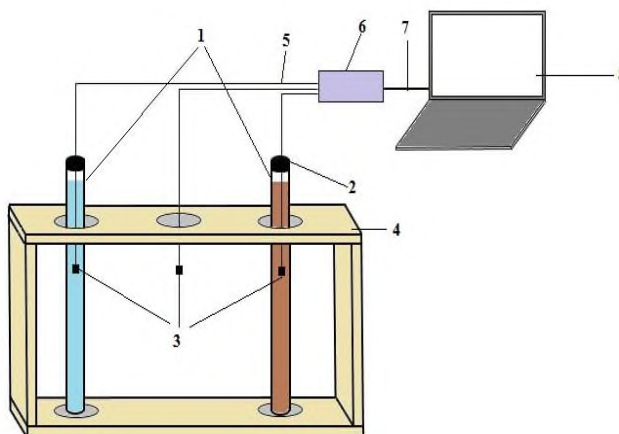
(11) ifodadagi  $\frac{1}{h_m R}$  juda ham kichik bo‘lganligi tufayli hisobga olmasa ham bo‘ladi [8].

(11) ifodaga kengayishning ikkinchi tartibli hadini e‘tiborga olmaslik natijasida hosil bo‘ladigan xatolik  $Bi > 0.1$ ,  $0 < Ste < 0.5$  bo‘lganda 5% dan oshmaydi ( $Ste$ -Stefan soni quyidagiga teng  $Ste = \frac{c_{p,s}(T_m - T_a)}{H_m}$ ), [8].

Xuddi shunday usul yordamida suyuq holatdagi issiqlik o‘tkazuvchanligi  $k_l$  ni hisoblab topish mumkin.

**Qurilmaning tasnifi.** Qurilma bir xil 2 ta probirka, yog‘och taglik, DS18B20 harorat sensori, sensor ulash simlari, arduino platasi, USB kabel, kompyuter, 0,01g aniqlikdagi tarozi, shtangensirkul, lineykalardan iborat.

Probirkalarni vertikal holatda ushlab maqsadida yog‘ochdan taglik yasaladi. Qurilmaning prinsipial sxemasi 4-rasmda ko‘rsatilgan. Qurilmada haroratlarni aniqlash maqsadida, ARDUINO UNO platasiga DS 18B20 harorat sensorlari ulanadi va har 0,5 minut davomida barcha nuqtalaridagi haroratlarni o‘lchanadi. Agar qotish vaqti juda kichik bo‘lsa, bu vaqt intervali yanada kamaytiriladi.



**4-rasm. Qurilmaning printsipial sxemasi:**

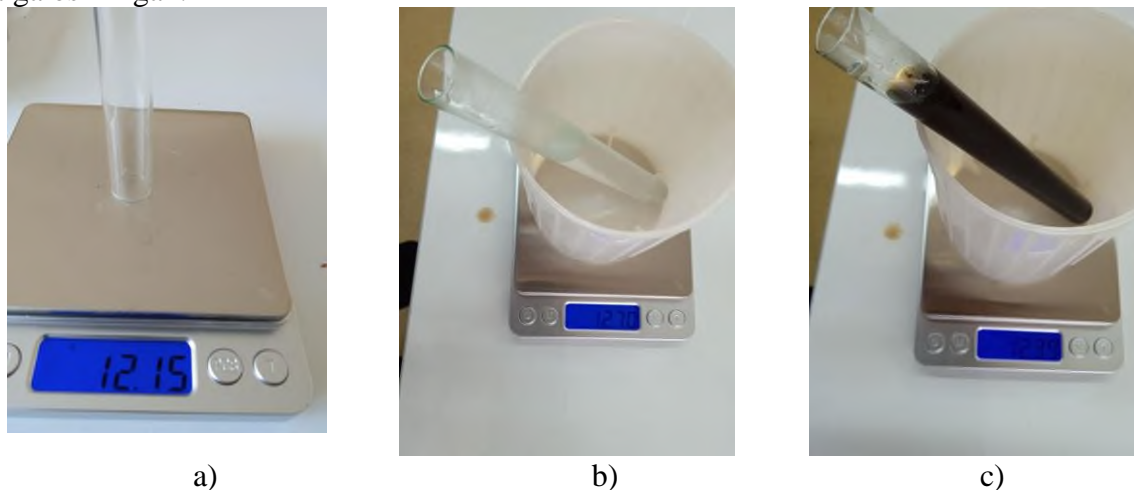
- 1) probirka, 2) probirka qopqog‘i, 3) Ds 18B20 harorat sensori, 4) yog‘och taglik, 5) sensor ulash simlari, 6) arduino platasi, 7) USB kabel, 8) kompyuter.

**Ishni bajarish tartibi.** Ikkita bir xildagi probirka olib, massalari  $m_{t1}$  va  $m_{t2}$ , ichki  $r_1, r_2$  va tashqi  $R_1, R_2$  radiuslari, uzunliklari  $l_1$  va  $l_2$  lar o‘lchanadi. Probirkalarga bir xil hajmda suv va suyuq holdagi FO‘M namuna solinadi va massalari  $m_w$  (suv massasi) va  $m_p$  (FO‘M massasi) o‘lchab olinadi. Namunalar ichida bir xil balandlikda va probirkalar markaziga termometr joylashtiriladi, FO‘M qattiq fazani egallaydi. Probirkalar qopqog‘i kiritilib, suv to‘ldirilgan vannaga joylashtiriladi va suv elektr plitka yordamida FO‘M eriguncha qizdiriladi. Ikkala modda haroratini bir xil holga keltirib, probirkalar taglikka bir-birining issiqligi ta‘sir etmaydigan holda joylashtiriladi (FO‘M ning

haroratini bir oz yuqoriroq olish tavsiya etiladi). FO‘M to‘liq qotib qolgunga qadar moddalarning harorati o‘lchab boriladi. Olingan haroratlarning vaqtga bog‘liq grafigi (1 va 2-rasmga o‘xshash) olinadi. Grafikdan nuqtalarning haroratlari aniqlanib, (6), (7) va (9) ifodalar yordamida moddaning qattiq, suyuq holatdagi solishtirma issiqlik sig‘imlari va sintez issiqligi aniqlanadi (haroratlarni aniqlashda, hosil bolgan egrilanishlarga urinma o‘tkazilib, shundagi harorat va vaqtlar olinadi). (11) ifoda yordamida FO‘M ning qattiq fazadagi issiqlik o‘tkazuvchanligi hisoblab topiladi [10].

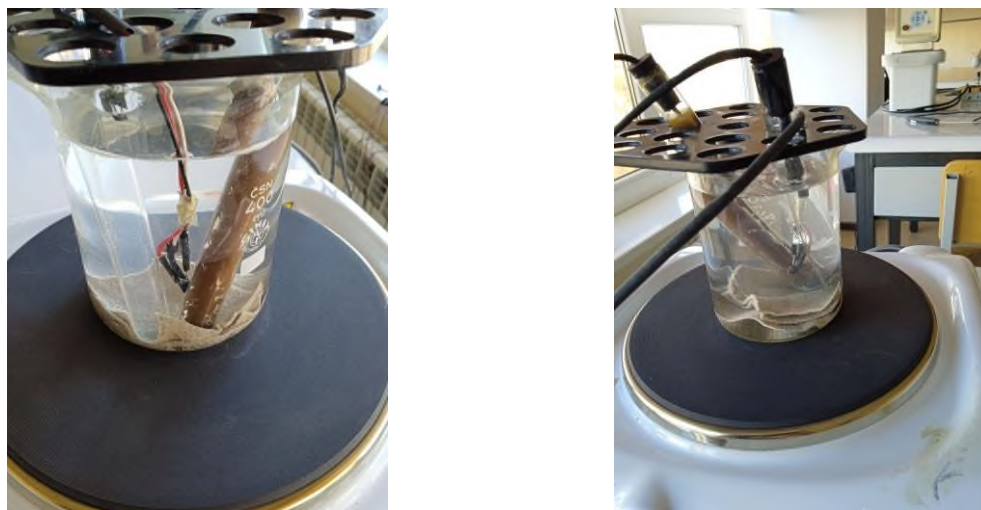
### Tajriba natijalari va tahlili

Ishning bajarilish tartibiga asosan quyidagi rasmlarga ko‘rsatilgan holatlarda o‘lchashlar amalga oshirilgan.



**5-rasm. Tajriba o‘tkazish jarayonida materiallarni o‘lchanish namunalari.**

Elektr isitgichiga qoyib taxminan 80 °C gacha isitildi.



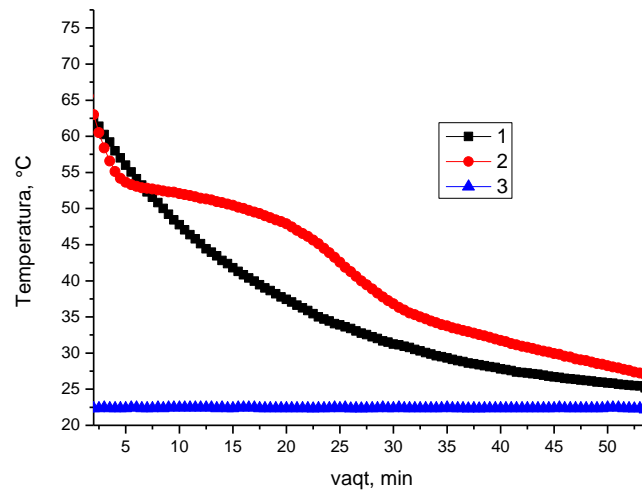
**6-rasm. Materiallarning elektr isitgichga isitish jarayoni.**

So‘ngra yog‘och taglikka joylashtirib xona haroratigacha sovutildi.

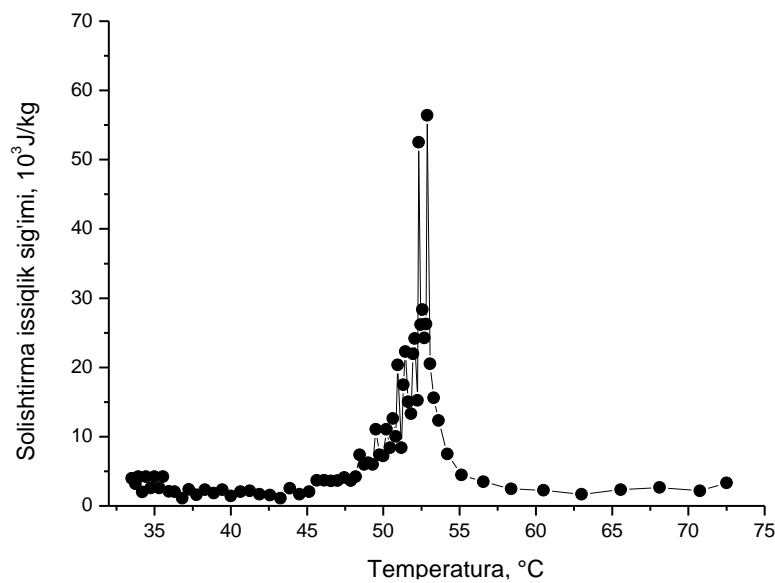


**7-rasm. Fazaviy o'tish vaqtida haroratlarni o'lchash jarayoni.**

Haroratlarning vaqtga bog'liqlik grafigi hamda egriliklardagi haroratlar aniqlab olindi.



**8-rasm. Tajriba davomida haroratning o'zgarishi grafigi: 1- suv harorati; 2- fazaviy o'tuvchi material (parafin) harorati; 3- xona harorati.**



**9-rasm. Fazaviy o'tuvchi material (parafin) solishtirma issiqlik sig'imining haroratga bog'liqlik grafigi.**



## Xulosa

Fazaviy o‘tuvchi materiallardan biri bo‘lgan parafinning suyuq  $c_{p,l}$  va qattiq  $c_{p,s}$  holatdagi solishtirma issiqlik sig‘imi va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $k_s$  aniqlangan. Fazaviy o‘tuvchi materiallarning qotish jarayoni (faza o‘zgarish jarayoni)da solishtirma issiqlik sig‘imi  $60 \text{ k J/(kg}\cdot\text{K)}$  gacha ortib borishi, suyuq holatdagi solishtirma issiqlik sig‘imi  $c_{p,l}=3545 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , qotish jarayonida solishtirma issiqlik sig‘imi  $c_{p,s}=5288 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , sintez issiqligi  $H_m=256 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$  va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $k_s=0.168 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  ga teng bo‘lishi aniqlangan.

Solishtirma issiqlik sig‘imining eng yuqori nuqtasidagi harorat shu material uchun erish va qotish harorati ekani ko‘rsatilgan. Quyosh qurilmarini uzluksiz rejimda ishlashini taminlash maqsadida issiqlik yig‘uvchi material sifatida parafinning issiqlik-texnik parametrlari o‘rganilgan.

## Adabiyotlar

- [1] <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=UZBEKISTAN&energy=Electricity&year=2021>
- [2] Tianhao Xu, Saman Nimali Gunasekara, Justin Ningwei Chiu, Bjorn Palm, Samer Sawalha. Thermal behavior of a sodium acetate trihydrate-based PCM: T-history and full-scale tests. // Applied Energy, 2020 г., Т. 261. 114432.
- [3] Marina Ayora-Fernandez, Marllory Isaza-Ruiz, Xorxe Burgos, Udayashankar Nithiyantham, L. Ernandes, Roza Mondragon. Development of a low-medium temperature T-history setup for the thermal storage characterization of non-homogeneous mixtures containing PCMs . // Journal of Energy Storage , 2023 г., Т. 74 . 109412.
- [4] Zhang Yinping, Jiang Yi and Jiang Yi. A simple method, the T-history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials. // Measurement Science and Technology, 1999 г.
- [5] Ахатов Ж.С., Самиев К.А., Рашидов К.Ю., Очилов Л.И. Пассивная теплоаккумулирующая система солнечного отопления с тепловой трубой. Патент на полезную модель, № FAP 02206 от 18.05.2022 // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. – 2023. – Том.263, №2. – С.186.
- [6] Zhang Yinping, Hu Hanping and Kong Xiangdong 1996 The Theory and Application of Heat Storage Phase-Change Materials (Hefei: Publishing Company of USTC) pp 339–41 (in Chinese)
- [7] Song Y W 1981 The solution of the solidification of PCMs in a cylindrical container by using the perturbation method J. Engng Thermal Phys. 2 211–6 (in Chinese, with English abstract)
- [8] Arun Gopinathan, Jaroslav Jerz, Jaroslav Kov, , Behzad Sadeghi, Pasquale Cavaliere. Lecce, Italy; Bratislava, Slovak Republic Implementation of T-history method to determine the thermophysical properties of the phase change materials . Thermochimica Acta , 2023.
- [9] Arnold Martinez, , Mauricio Carmona, Inmaculada Arauzo Experimentally based testing of the enthalpy-porosity method for the numerical simulation of phase change of paraffin-type PCMs // Journal of Energy Storage 2023.
- [10] Thandiwe Bongani Radebe, Asasei Unarine Casey Ndanduleni, , Zhongjie Huan, Washington Mhike Evaluation of the thermal properties of subzero phase-change materials by the T history method during the solidification and melting phase // Journal of Energy Storage 2024.