Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

*Рекомендовано Вченою Радою Інженерно-хімічного факультету,
протокол № 10 від 26.12.2011 р.*

Є.М. Панов, Т.Б. Шилович

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ИТ-λ-400

Методичні вказівки до лабораторної роботи для студентів напрямів підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» та 6.050503 «Машинобудування»

Київ 2011

Рецензент Олещук Л.М..

Відповідальний редактор Васильченко Г.М.

Панов Є.М., Шилович Т.Б..
Визначення теплопровідності твердих тіл за допомогою приладу ИТ-λ-400./ Панов Є.М., Шилович Т.Б. [Електронний ресурс] –К.: НТУУ «КПІ»; 2011. - 30 с.

Розглянуто сутність, теорію та методику визначення теплопровідності твердих тіл за методом динамічного калориметра. Наведено опис установки для визначення теплопровідності ИТ-λ-400. Запропоновано експериментально визначити теплопровідність зразків твердих матеріалів.

Для студентів технічних спеціальностей напрямів підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування» вищих навчальних закладів.

© Є.М. Панов,
Т.Б. Шилович

ЗМІСТ

Вступ 4

1. Теплопровідність твердих тіл. Основні теоретичні відомості 5

2. Опис лабораторної установки 6

2.1 Основні характеристики установки. 7

2.2 Принцип роботи установки 8

2.3 Опис конструкції вимірювального блоку 12

3. Порядок виконання роботи 15

4. Порядок виконання розрахунків. 24

5. Розрахунок погрішностей визначення $К_Т$ і $Р_к$ 25

6. Протокол досліджень 26

7.Техніка безпеки 27

8. Контрольні питання 27

Додатки 27

Список рекомендованої літератури 30

ВСТУП

Дисципліна «Теоретичні основи теплотехніки» являється спеціальною у підготовці бакалаврів за напрямками підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування». Сутність дисципліни – вивчення методів дослідження теплообміну (теплопровідності, конвекції, випромінювання) в технологічних процесах, пов′язаних з інженерними задачами; розв′язування складних теплофізичних задач, що стоять перед інженерами-технологами та інженерами-конструкторами; визначення та розробка технічних умов до спеціального обладнання, пов′язаного з теплофізичними процесами при обробці матеріалів; вибір, обґрунтування та оптимізація теплофізичних режимів технологій обробки; методи досягнення потрібних теплофізичних режимів; розрахунок температурних полів оброблюваних матеріалів; вибір методів чисельних розрахунків в складних геометричних, фізичних та граничних умовах інженерних задач теплопровідності.

Метою даної лабораторної роботи є ознайомлення студентів з методикою визначення теплопровідності твердих тіл з використанням стандартної установки та виконання експериментального дослідження теплопровідності зразків твердих матеріалів у стаціонарному режимі при різних температурах.

1. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ТВЕРДИХ ТІЛ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Процес теплопровідності являє собою перенос теплоти, який здійснюється шляхом теплового руху структурних часток (електронів, атомів, молекул). Теплопровідність є важливою технологічною й експлуатаційною характеристикою речовини.

Згідно гіпотезі Фурьє кількість теплоти dQ_τ, що проходить через ізотермічну поверхню dF за проміжок часу $d\tau$ пропорційно температурному градієнту $\frac{\partial t}{\partial n}$:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau$$

Знак «мінус» означає , що теплота переноситься в напрямку, протилежному градієнту температури. Коефіцієнтом пропорційності λ, Вт/(м·К) є фізичний параметр, якій характеризує здатність речовини проводити теплоту и називається *теплопровідністю.* Теплопровідність залежить від роду речовини, температури та тиску. Для газів теплопровідність знаходиться у межах 0,006...0,6 Вт/(м·К), для крапельних рідин 0,07...0,7 Вт/(м·К), будівельних та теплоізоляційних матеріалів – у межах 0,023...2,9 Вт/(м·К). Найбільше значення теплопровідності мають метали – 10...400 Вт/(м·К). Це обумовлено розбіжностями структури речовини і, в наслідок цього, різними способами передачі теплоти.

Висока теплопровідність металів та металевих композитів пояснюється тим, що перенесення теплоти в них здійснюється в основному за допомогою передачі енергії електронами, на відміну від неметалічних речовин. Співвідношення внесків кожної складової залежить від конкретних умов сполуки композита, наприклад, у надпровідних матеріалах відносні внески цих механізмів різні в нормальному й

надпровідному станах. У загальному випадку теплопровідність є сумою решіткової і електронної теплопровідності $\lambda = a\,\lambda_{реш} + b\,\lambda_{электр.}$.

З таблиці 1 видно, що у керамічних матеріалів, що містять стеклофазу й мають кристалофазу з відносно складною будовою решітки (муліт, порцеляна, кварцове скло, стабілізована ZrO_2 і інш.), коефіцієнт теплопровідності досить малий. Він також мало міняється зі зростанням температури, при цьому розходження в складі стеклофази розміру кристалів повинне проявлятися в незначній мірі.

Таблиця 1 - Значення коефіцієнтів теплопровідності різних керамічних матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності, *Вт/(м·К)*		Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності, *Вт/(м·К)*	
	100^oC	1000^oC		100^oC	1000^oC
Al_2O_3	30,0	6,2	Муліт	6,0	4,0
BeO	220,0	20,0	UO_2	10,1	3,3
MgO	36,0	7,0	ZrO_2	1,9	2,3
$MgAl_2O_4$	15,0	5,8	Кварцове скло	2,1	2,5
ThO_2	6,5	3,3	Фарфор	1,7	1,9

2. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

В даній лабораторній роботі використовується вимірник теплопровідності

ИТ-λ-400. Вимірник призначений для дослідження температурної залежності теплопровідності твердих механічно оброблюваних матеріалів в режимі монотонного нагрівання.

2.1 Основні характеристики установки

Умови експлуатації вимірника:

Навколишня температура, ^{o}C…….....від 10 до +35

Відносна вологість повітря при температурі 25 ос, %.....до 80

Атмосферний тиск, кПа (мм.рт.ст.)…….....650-800

Технічні дані вимірювача теплопровідності

діапазон виміру теплопровідності λ, Вт/(м·К)……від 0,1 до 5

температурний діапазон виміру теплопровідності, ^{o}C……....від -100 до +400

діаметр випробуваного зразка, мм …….....15±0,3

висота (залежно від очікуваного значення відповідно до табл. 1.)… . .від 0,5 до 5

тривалість вимірів у всьому температурному діапазоні, год. … . ..не більше за 2,5

межа основної погрішності виміру теплопровідності, % …… . . . .……±10

споживана потужність, кВт ……не більше 1

електроживлення мережі змінного струму ……... . 50 Гц

напруга ……..... 220±22В.

До складу установки входить:

- блок вимірювальний ПУ.999.067,

- блок живлення й регулювання ПУ 2.087.089,

- вимірювальний комплекс, що складається з комп’ютера, модуля збору даних ICP con I-7018 та перетворювача ICP con I-7520, блока живлення. Крім того, для проведення дослідження необхідні ваги електронні та мікрометр.

2.2 Принцип роботи установки

Для виміру теплопровідності у вимірнику використовується метод динамічного калометра [1]. Теплова схема методу показана на рис.1

Зразок, який досліджується (4), розміщується між пластиною контактною (3) і стрижнем (5) та монотонно розігріваються тепловим потоком *Q(i),* який поступає від основи (1). Бічні поверхні стрижня (5), зразка (4), пластин (2), (3) адіабатно ізольовані. Стрижень (5) і пластина контактна (3) виготовлені з міді, яка має високу теплопровідність, тому перепади температур на них є незначними.

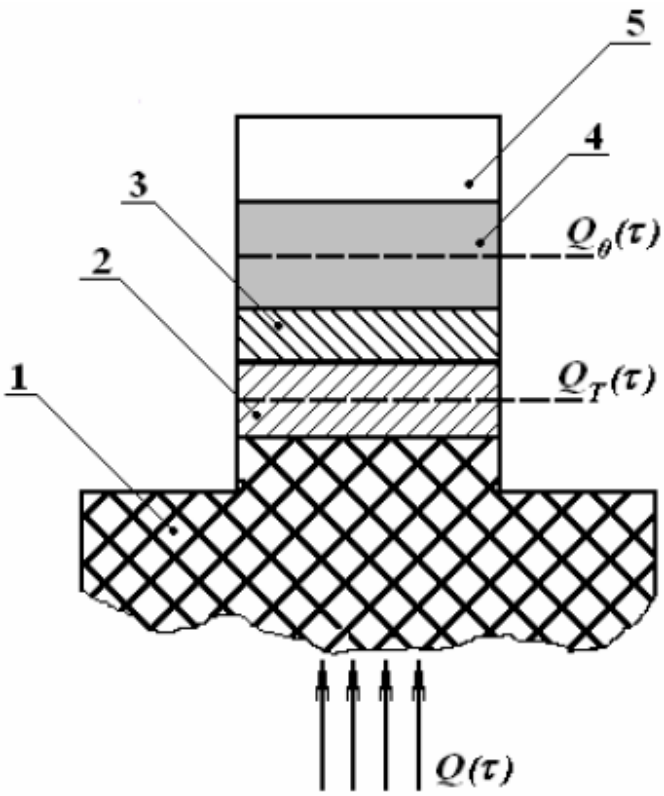


Рис.1. - Теплова схема методу: 1 - підставка; 2 - пластина; 3 - пластина контактна; 4 – зразок, що випробується; 5 - стрижень

Тепловий потік *Q(τ),* що проходить через середній перетин пластини (2),частково поглинається нею й далі йде на розігрів пластини (3), зразка (4) та

стрижня (5). Розміри системи обрані таким чином, щоб потоки, що акумулюються зразком і пластиною були в 5-10 разів менше за ті, що поглинаються стрижнем. У цьому випадку температурне поле зразка (4) і пластини (2) виявляється близьким до лінійного стаціонарного, всі деталі системи розігріваються з близьким швидкостями, а для теплових потоків $Q_o(\tau)$ і $Q_T(\tau)$ і для будь-якого рівня температури справедливі формули:

$$Q_0(\tau) = \frac{\nu_0 S}{P} = (\frac{1}{2}C_0 + C_c)b, \qquad (1)$$

де $Q_o(\tau)$ – тепловий потік, що проходить через зразок і поглинається стриженем, Вт;

ν_o - перепад температури на зразку, К;

P - тепловий опір між стрижнем і контактною пластиною, (м^2·К)/Вт;

C_o - повна теплоємність зразка, Дж/К;

C_c - повна теплоємність стрижня, Дж/К;

b - швидкість розігріву вимірювального стільника, К/с;

S - площа поперечного переріза зразка, м^2;

$$Q_T(\tau) = K^*_T \nu_T = (\frac{1}{2}C_T + C_n + C_0 + C_C)b, \qquad (2)$$

де $Q_T(\tau)$ – тепловий потік, що проходить через середній перетин пластини 2, Вт;

K_T* - коефіцієнт пропорційності, що характеризує ефективну теплову провідність пластини (2), Вт/К;

ν_T – перепад температури на пластині (2), К;

C_T – повна теплоємність пластини (2), Дж/К;

C_n – повна теплоємність пластини контактної (3), Дж/К;

Тепловий опір між стрижнем і контактною пластиною визначається за формулою:

$$P = P_0 + P_K \qquad (3)$$

де P_o – тепловий опір зразка,

$P_к$ – виправлення, що враховує тепловий опір контакту, не ідентичність і тепловий опір закладення термопар,

Тепловий опір зразка визначається по формулі:

$$P_0 = \frac{h}{\lambda}, \qquad (4)$$

де h – висота зразка, м;

λ - теплопровідність зразка, *Вт.*

На підставі формул *(1), (2), (3), (4)* отримуємо робочі розрахункові формули для теплового опору зразка і його теплопровідності

$$\mathrm{P}_0 = \frac{\nu_0 \mathrm{S}(1+\sigma_c)}{\nu_\mathrm{T} \mathrm{K}_\mathrm{T}} - \mathrm{P}_\mathrm{k} \qquad (5)$$

де σ_c - виправлення, що враховує теплоємність зразка;

$$\sigma_c = \frac{C_0}{2(C_0 + C_c)}, \qquad (6)$$

де C_0 – повна теплоємність випробуваного зразка (додаток , таблиця Д1), Дж/(К);

C_c – повна теплоємність стрижня, Дж/К;

$$C_0 = C_0(t) m_0, \qquad (7)$$

де $C_o(t)$ – орієнтовне значення питомої теплоємності зразка, Дж/(кг·К),

m_o – маса зразка, кг;

$$C_c = C_м(t) m_c \qquad (8)$$

де $C_м(t)$ – питома теплоємність міді (додаток , таблиця Д1), Дж/(кг К);

m_c – маса стрижня, кг.

Вплив σ_c звичайно не перевищує 5-10% і може оцінюватися по орієнтовним даним теплоємності зразка.

Значення теплопровідності пластини визначається за наступною формулою (10):

$$K_Т = K^*_Т \frac{C_с}{0{,}5C_Т + C_п + C_с} \qquad (9)$$

$$\lambda = \frac{h}{P_0}, \qquad (10)$$

Обчислені значення теплопровідності зразка відносяться до середньої температури зразка, що визначається за формулою:

$$\bar{t} = t_c + 0{,}5 A_t n_o \qquad (11)$$

де $\bar{t}$ - середня температура зразка, °С; t_c – температура, при якій проводився вимір теплопровідності, °С; A_t – чутливість термопари хромель-алюмель, К/мВ; n_o – перепад температури на зразку, мВ.

Параметри K_T і $P_к$ не залежать від властивостей зразка, що випробується, є «постійними» вимірника. Значення *Рк* зазвичай дано для матеріалу з λ =2÷5Вт/(м ·К) і не перевищують 10-20% теплового опору зразка.

Визначення K_T і *Рк* проводиться в градуїровочних експериментах із зразковою мірою із кварцового скла й зразком з міді, що входить у комплект приладу. Для визначення теплопровідності випробуваного зразка в експерименті необхідно на різних рівнях температури вимірювати перепади температури на

тепломірі *v* і на зразку *vo* – у мікровольтах, МкВ, *n* і *no*. Результати градуїровочних експериментів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати градуїровочних експериментів

t_c	n_0, дел	n_t, дел	K_T, Вт/К	P_K	K_{Tt}, Вт/К
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
25	45	5	0,218	8,72e-4	0,062
50	170	46	0,118	7,54e-4	0,064
75	196	86	0,075	6,54e-4	0,065
100	212	92	0,078	6,28e-4	0,067
125	209	95	0,076	6,70e-4	0,068

Для визначення теплопровідності в експериментальному дослідженні в процесі безперервного розігріву на різних фіксованих рівнях температури застосовується вимірювальний комплекс з оригінальним програмним забезпеченням, який дозволяє вимірювати перепад температур на зразку $П_o$ й пластині $П_T$ тепломіра.

2.3 Опис конструкції вимірювального блоку

Вимірювальний блок зібраний у корпусі, виготовленому на базі типового каркаса. На двох косинцях, прикріплених до корпусу гвинтами, установлена плата, що несе на собі вимірювальний стільник. Нижня частина вимірювального стільника закріплена на платі планками. Верхня частина вимірювального стільника встановлена на тій же платі за допомогою направляючою штанги, що має шпонковий паз і фрезеровану канавку для підйому й бічного повороту. Це

дозволяє при зміні випробуваного зразка підняти й повернути убік на 90° верхню частину вимірювального стільника.

Для підйому служить упор. У спеціальному кожусі встановлені з’єднуюча колодка й міст опорів. На передній панелі блоку розміщені рукоятки керування й сигнальна лампа регулятора температури. Стільник вимірювання (рис. 3) є найважливішою частиною вимірювального блоку й складається з корпуса 9, роз’ємної теплозахисної оболонки (10) і металевого ядра (деталі (1), (2), (3), (4), (11), (13), (14)). Корпус (9) складається з 2-х частин, постачений ребрами для інтенсифікації теплообміну на його поверхні (на рис.3 не показані). Нижня частина корпуса закріплена на верхній горизонтальній платі вимірювального блоку, верхня частина - на под’ємно - комірцевому штанговому механізмі. Блок нагрівальний (14) і ковпак охоронний (4) постачені системою отворів. Через патрубки (8) і (15) здійснюється подача рідкого азоту при охолодженні ядра в область негативних або кімнатних температур. Система отворів у нагрівальному блоці (14) і охоронному ковпаку (4) забезпечує досить рівномірне охолодження всього ядра в цілому. На мідній підставці (13) розміщені термопари (3), пластина (1), контактна пластина (2), яка складає тепломір, і випробуваний зразок (12). Основа (13) і блок нагрівальний (14) з'єднані гвинтами й спеціальної хрестоподібною деталлю кріпляться до нижньої половини корпуса вимірювального стільника. Охоронний ковпак (4) за допомогою аналогічної деталі кріпиться до верхньої частини корпуса. Для температурних вимірів використовуються хромель-алюмелеві термопари з діаметром електродів 0,2 мм. Електроди ізольовані в гарячій зоні ядра керамічними двухканальними трубками діаметром близько 1 мм. Останні для підвищення механічної міцності армовані трубками з нержавіючої сталі. Зразок, що випробується (12) установлюється на пластину контактну (2) і зверху підтискається стрижнем (11), притиском (6) і

пружиною (7). Тепломір змонтований у мідній основі (13). Робочим шаром термометра є пластина (1) з нержавіючої сталі 12Х18Н9Т.

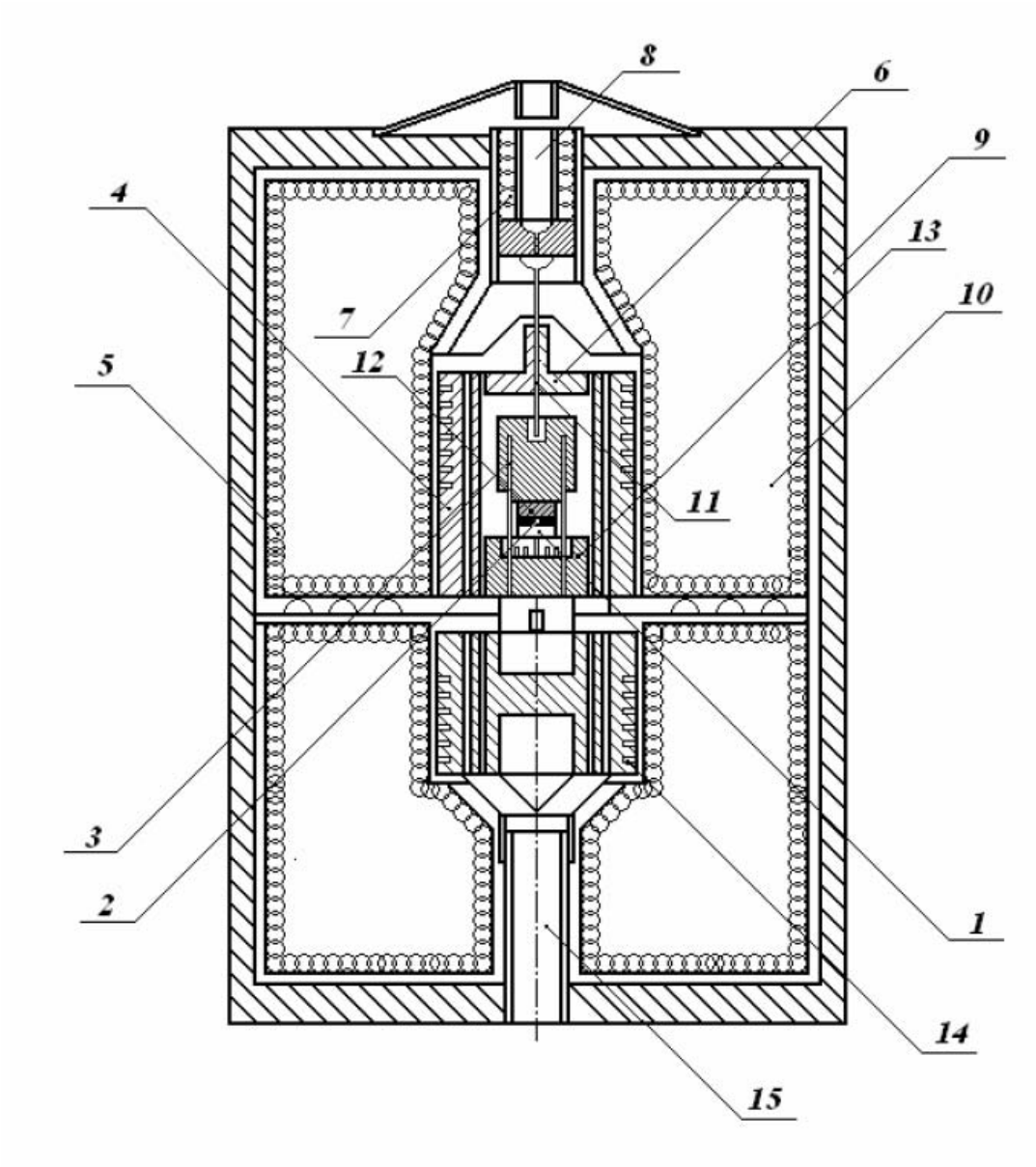


Рис. 3 Стільник вимірювання теплопровідності.

Для збільшення теплового опору й зниження теплоємності в пластині передбачені отвори й канавки. Підставка (13), пластини (1) і (2) спаяні один з одним і постачені

шестиспайним термостовпчиком із хромелю та алюмелю. Для установки термостовпчика в підставці (13) і пластинах (1) і (2) передбачені отвори.

Розмір зразка для визначення теплопровідності наведено на рис. 4.

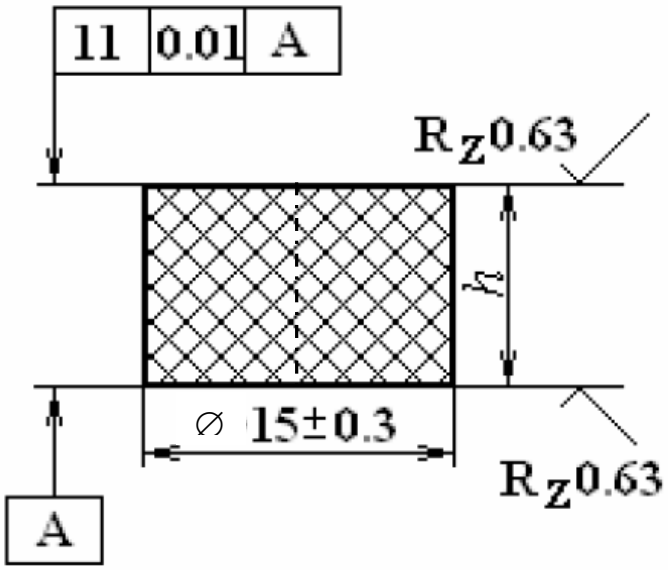


Рис. 4. - Креслення зразка

Для поліпшення теплового контакту зразків використовується теплостійке змащення ПФМС-4 ТУ 02-917-74. Для зразків, що усмоктують змащення можна використовувати графітовий порошок ГОСТ 8295-73 або алюмінієву пудру ГОСТ 5494-71. Для реєстрації основних параметрів зразка й результатів експерименту рекомендується використовувати таблицю 4.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1. З'єднайте блок живлення й регулювання з вимірювальним блоком джгутом, підключіть вимірювальний комплекс (рис. 5).

3.2. Переведіть кнопки «МЕРЕЖА», «НАГРІВАННЯ» у положення «ВЫКЛ.»

3.3. Підключите блок живлення й регулювання і комплекс до мережі 220В, 50 Гц

3.4. Встановіть:

перемикач «ВИМІР» у положення УСТ 0; перемикач «ТЕМПЕРАТУРА» у положення 25°С.

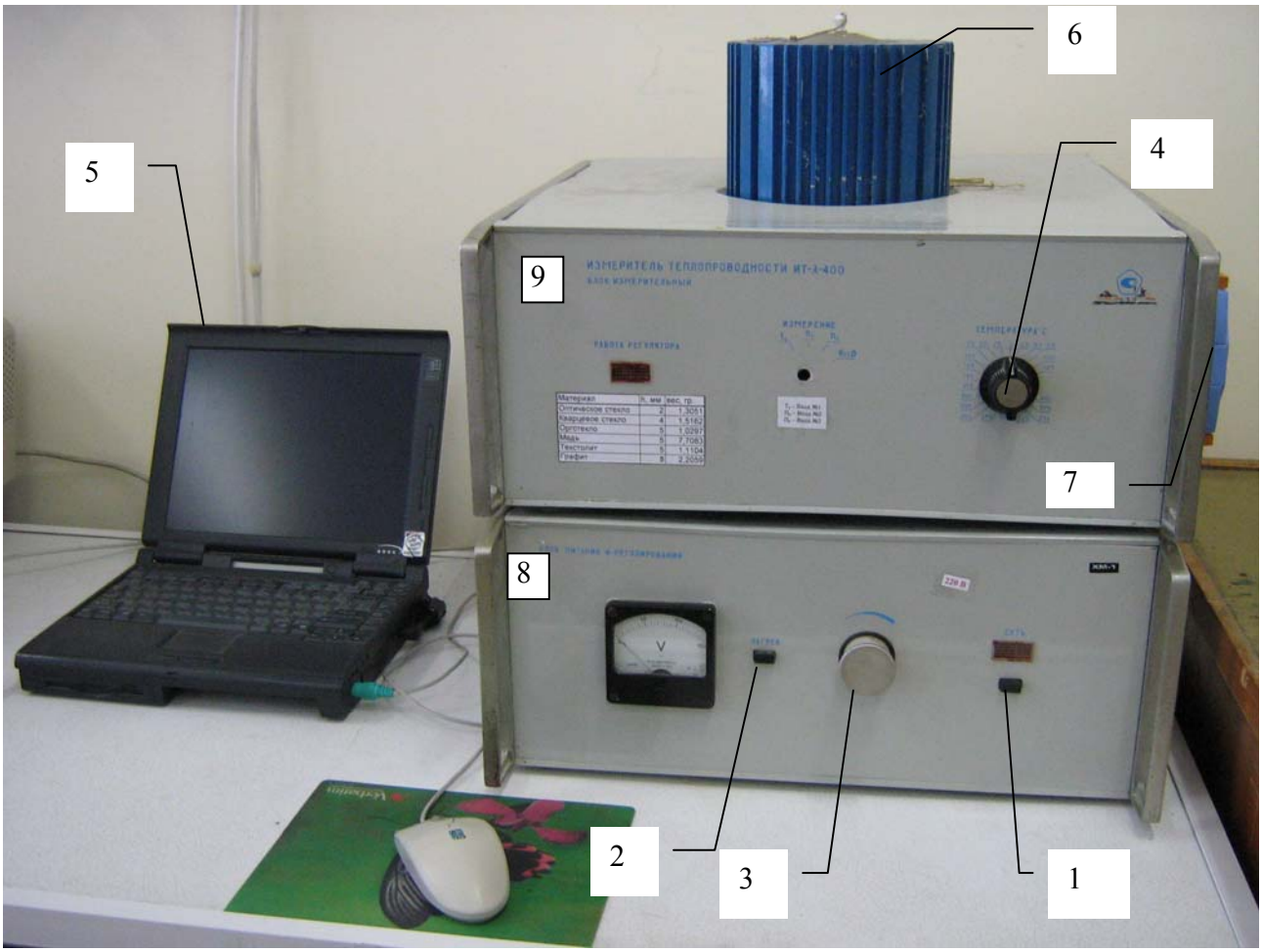


Рис.5 Загальний вигляд установки для визначення теплопровідності твердих матеріалів. 1 – кнопка «включення в мережу»; 2 – кнопка «нагрів»; 3 – регулятор напруги; 4 – установлення температурного рівня виміру; 5 – ноутбук; 6 – комірка виміру; 7 - модуль збору даних; 8 – блок живлення; 9 – вимірювальний блок.

3.5. Зробіть виміри висоти й діаметра зразка з погрішністю ±0,01 мм.

3.6. Зважтеи зразок з погрішністю ± 0,001 г.

3.7. Занесіть отримані про зразок дані в табл.4.

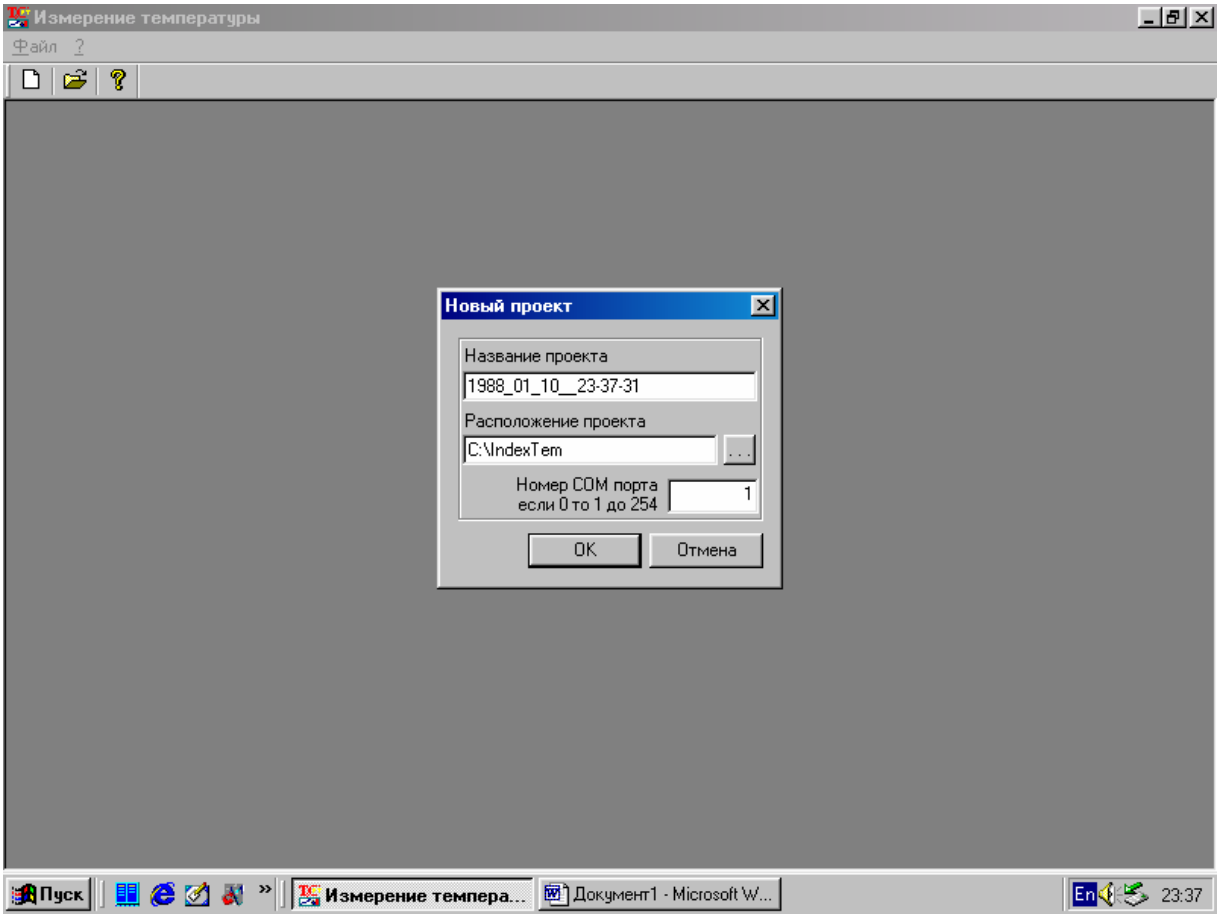
3.8. Встановити зразок матеріалу в комірку 6. Для цього підняти вгору та повернути за часовою стрілкою корпус, установити зразок на мідну основу та накрити мідним ковпачком.

3.9. Підключіть до електричної мережі вимірювальний комплекс, що складається з комп'ютера 5 та модулів збору інформації 7, блок живлення 3 та вимірювальний блок 9.

3.10. Здійснення підключення вимірювального комплексу наступним чином:

3.10.1 Створюємо новий проект:

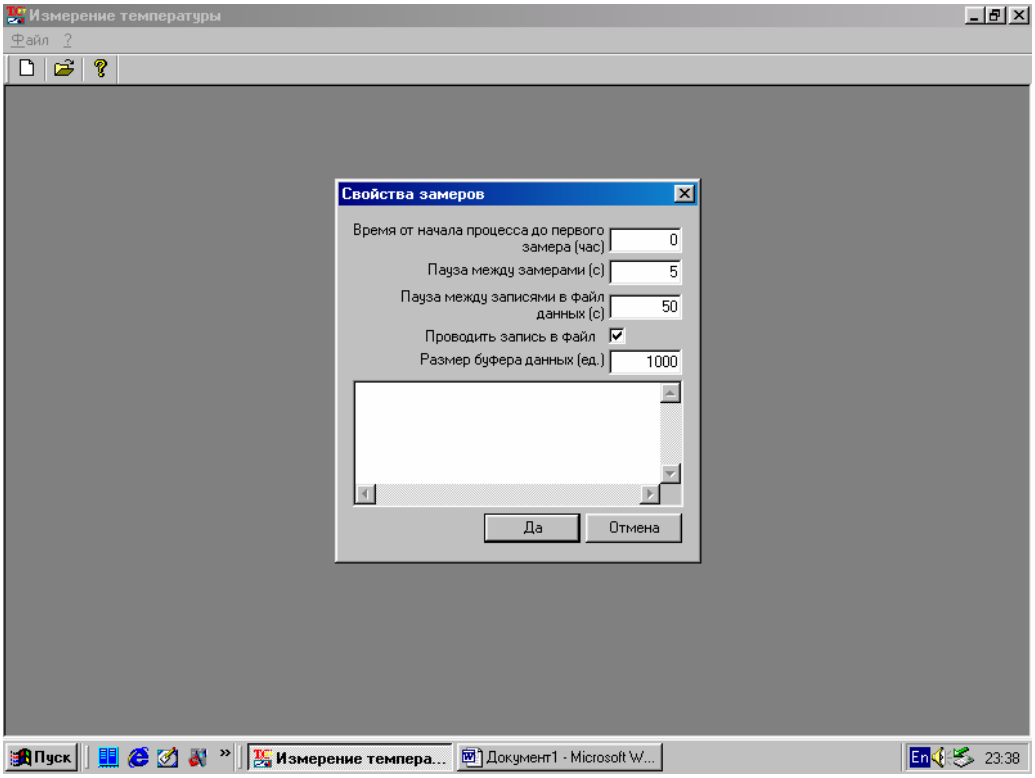
C\ Index Tem\ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ\indextem_exe\ новый проект\



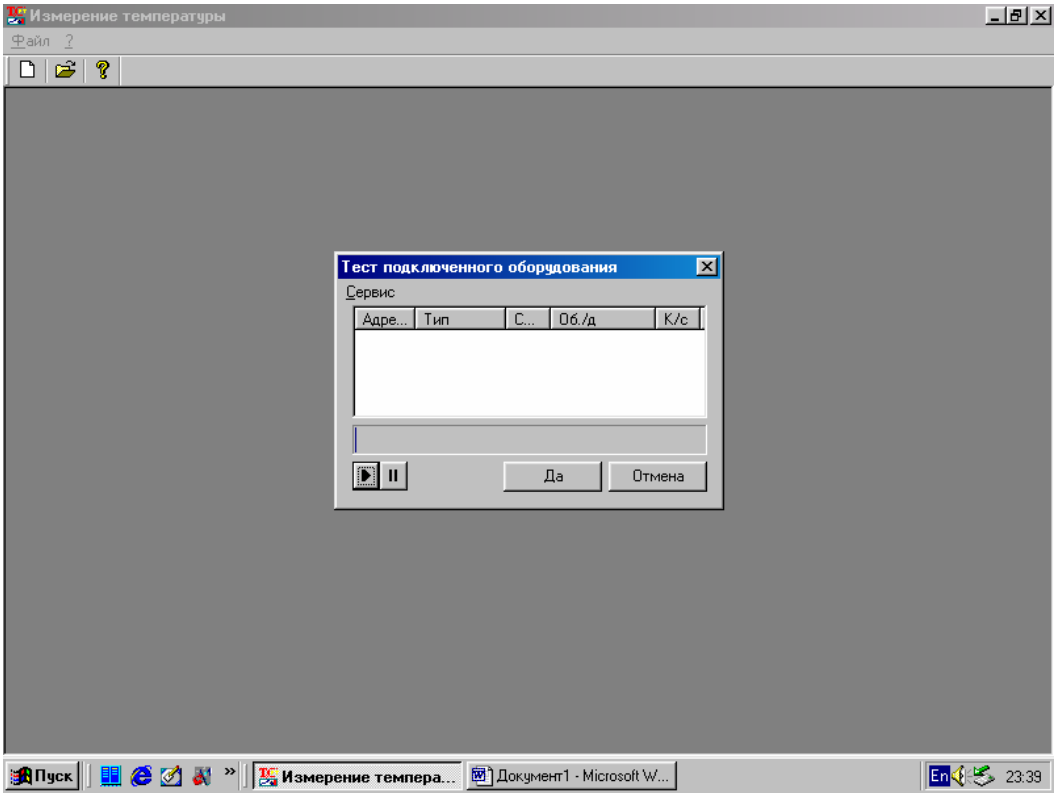
Правою кнопкою «миші» натискаємо клавішу «ОК»

3.10.2. Задаємо параметри вимірювання:

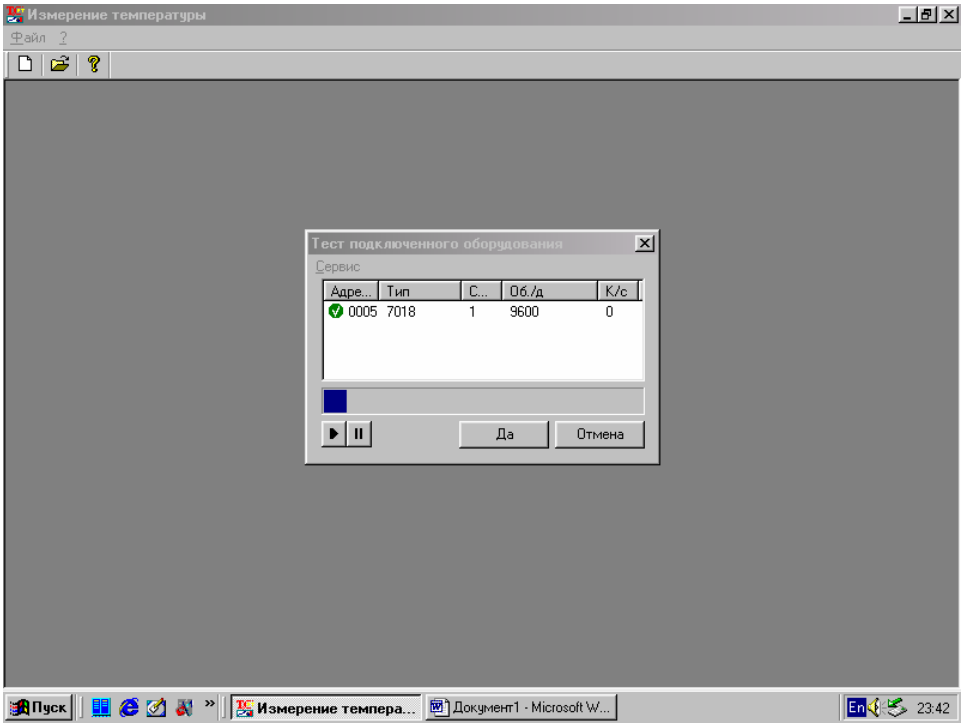
Время начала процесса до первого замера (час)	0
Пауза между замерами (с)	5
Пауза между записами в файл (с)	50
Проводить запись в файл	√
Размер буфера даннях (ед)	1000



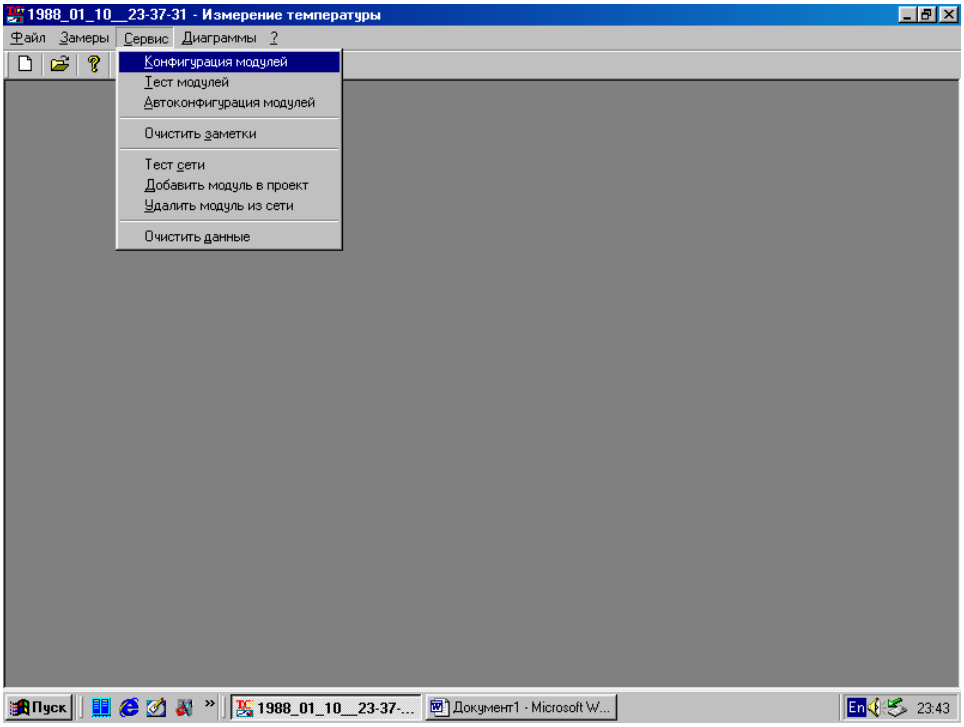
3.10.3 Зробіть тест підключення обладнання



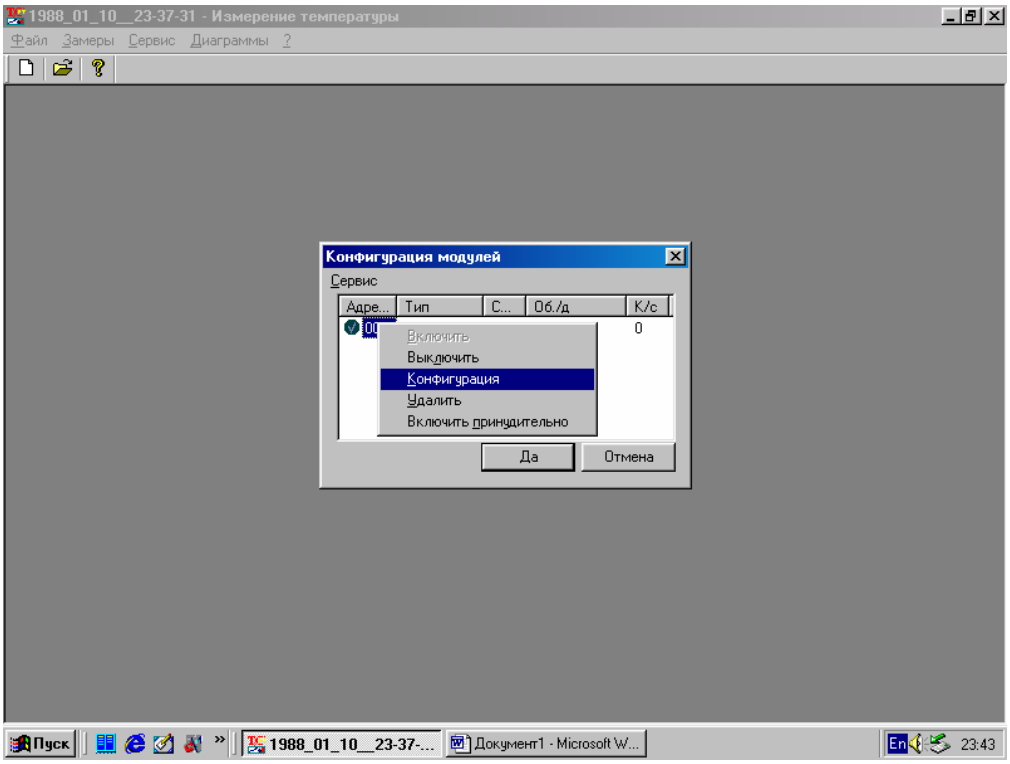
Коли тест закінчився і з’явилось потрібне обладнання, натискаємо кнопку «Да».



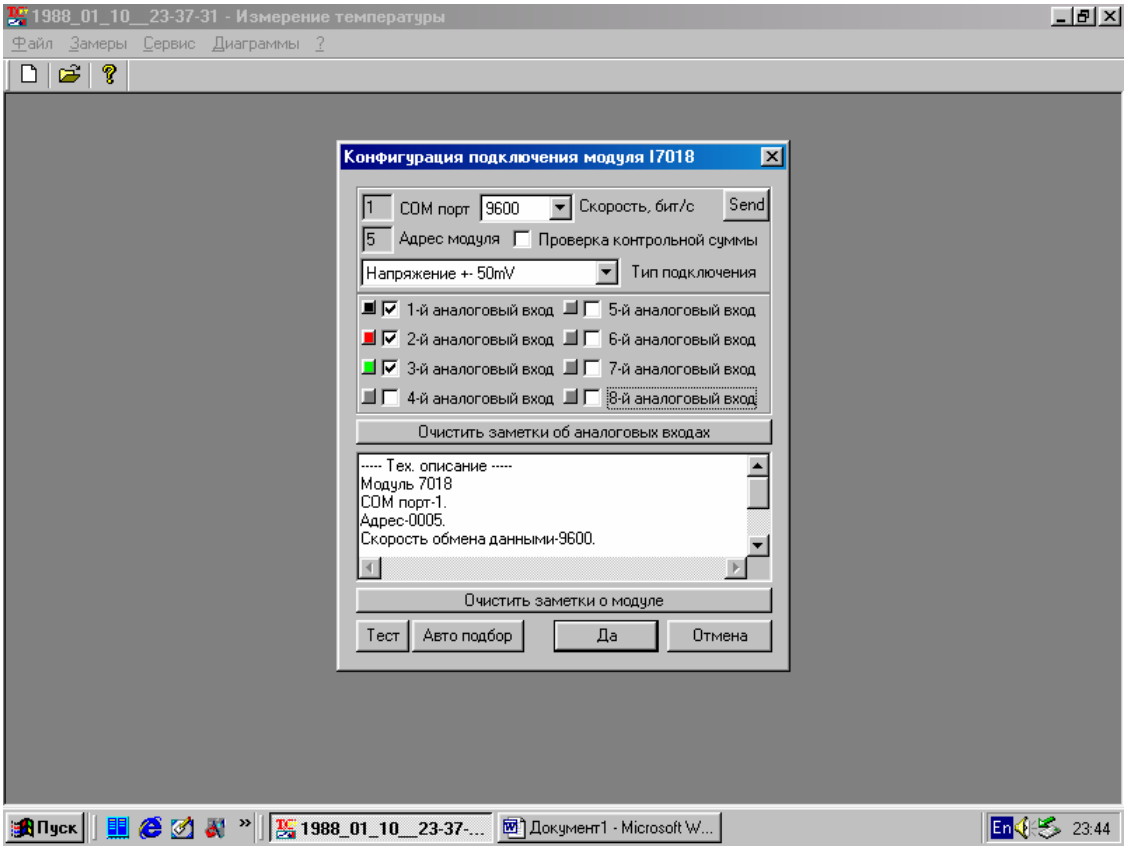
3.10.4 На панелі натискаємо «Сервис» - «Конфігурація модулей»



В з'явившомуся вікні натискаємо правою кнопкою «миші» на обладнання, що з'явилося, і в контекстному меню обираємо пункт «Конфигурация»

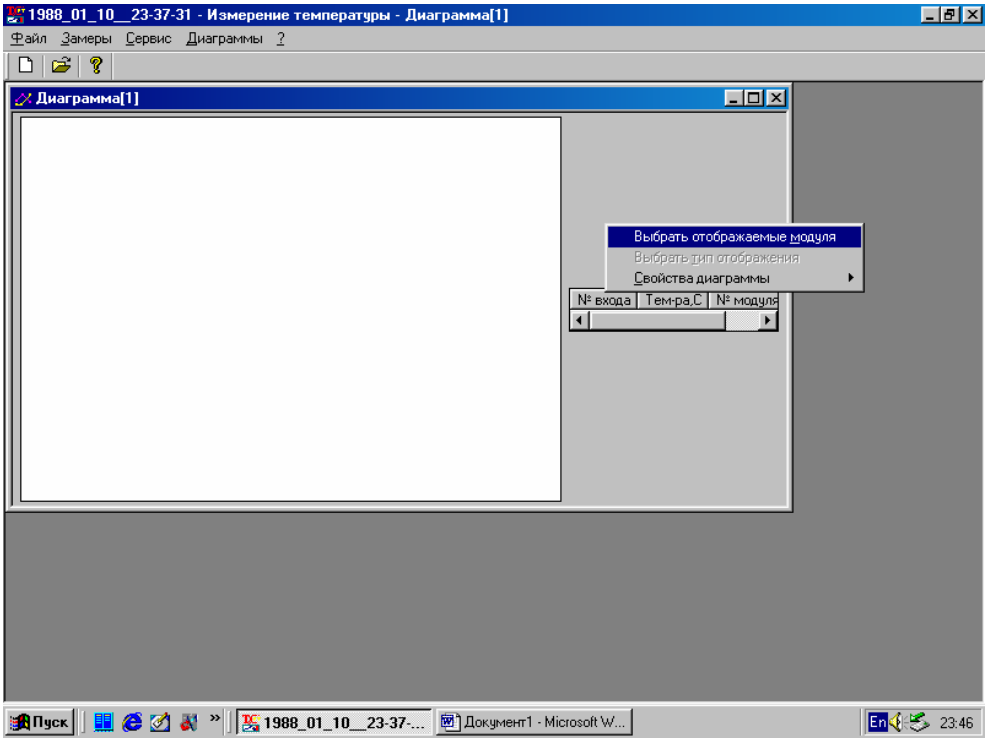


У вікні, що з’явивилося, залишаємо галочки тільки напроти аналогових виходів 1,2,3 -

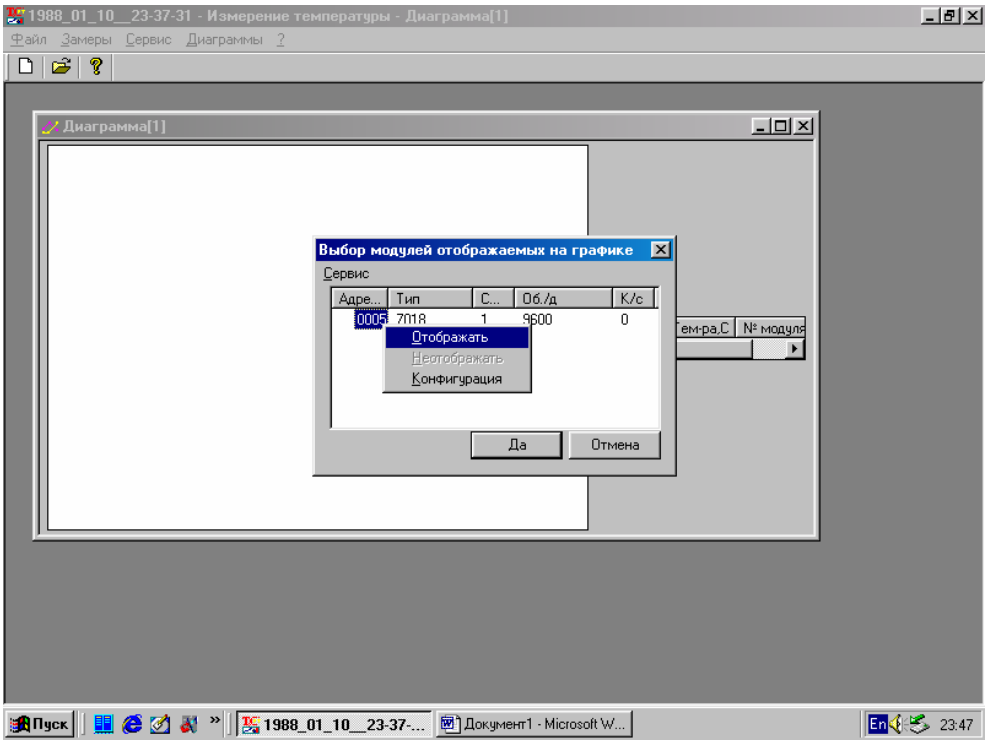


3.10.5 На панелі вибираємо «Диаграмми» – «Добавить диаграмму»

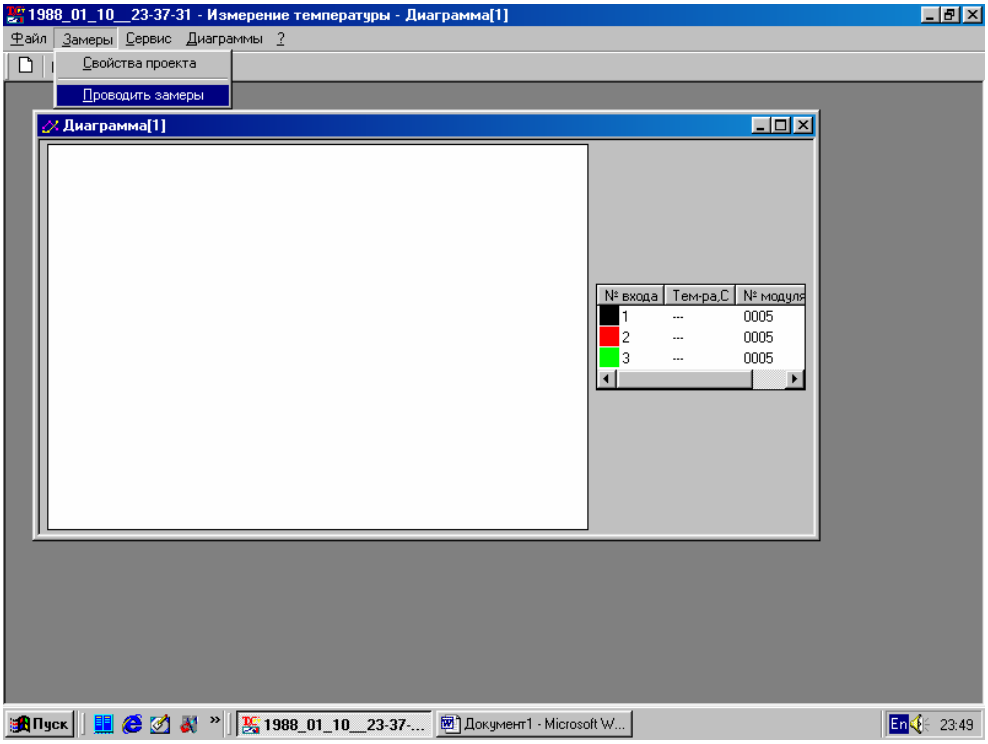
У вікні, що зявилося, натискаємо правою кнопкою «миші» і обираємо пункт «Выбрать отображаемые модуля»



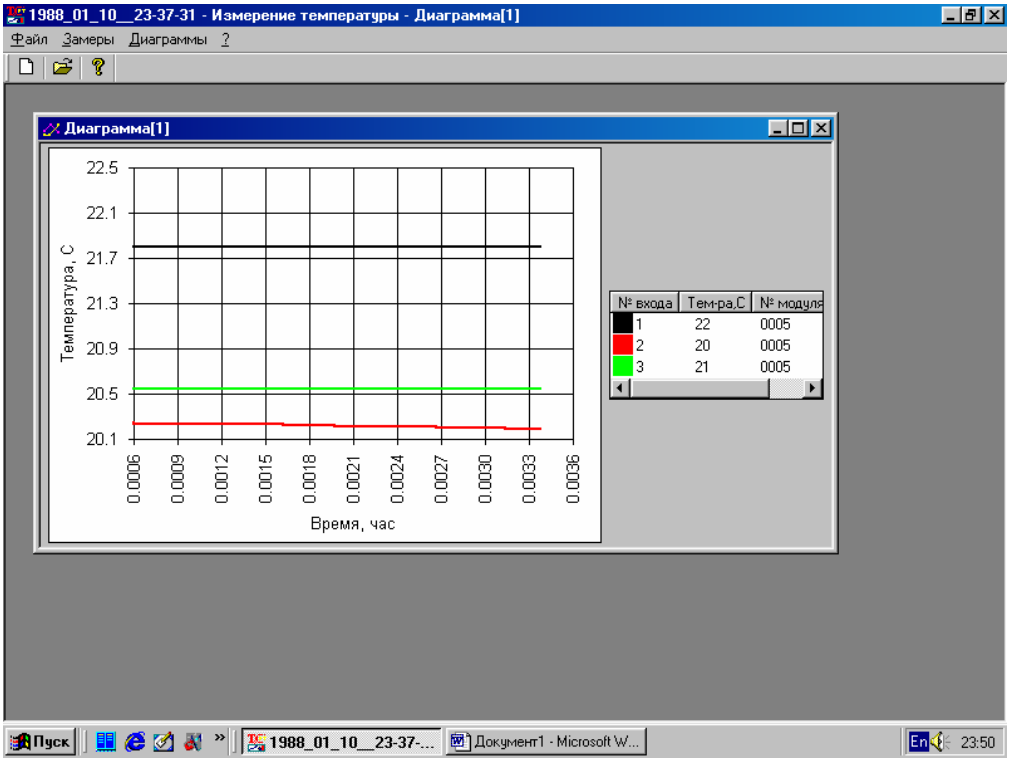
В з’явившомуся вікні натискаємо правою кнопкою на назву модуля і у вікні, що з’явилося, обираємо пункт «Отобразить»



3.10.6. На панелі інструментів обираємо «Замеры» – «Проводить замеры»



На екрані з’являються показання термопар.



Знімаємо показання 3-х термопар – перша (показання нуль-прилада), друга – показує перепад n_0, третя - n_t .

3.11. Підключаємо блок живлення для нагріву вимірювальної комірки. Для цього натискаючи кнопку 1, вмикаємо блок живлення, натискаючи кнопку 2, вмикаємо нагрівник. Шляхом повертання ручки 3 задаємо напругу 40 В.

3.12. За допомогою перемикача 4 задаємо першу температуру виміру 25 °С.

За допомогою вимірювального комплексу проводимо заміри. В момент перетину термопарою №1 осі ОХ (про що свідчать показання «0.00» напроти 1 термопари), знімаються показання двох інших термопар та заносять в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати вимірів

Температура, °С	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
№2 (черв)											
№3 (зел)											

3.13. Переводимо регулятор температури на наступний рівень температур та виконати заміри при наступних температурах.

3.14. Після виконання всіх замірів, завершити заміри («Замеры остановить»).

3.15. Вимкніть кнопкою «НАГРІВАННЯ» основний нагрівач при досягнення верхнього рівня температури випробувань.

3.16. Вимкніть блок живлення й регулювання.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

Значення теплопровідності визначається в наступним чином:

- розрахувати виправлення на теплоємність зразка σ_c за формулою (6);

- розрахувати тепловий опір зразка P_0 за формулою (5);
- визначити середню температуру зразка за формулою (11);
- розрахувати теплопровідність зразка λ за формулою (10).
- розрахувати температуру віднесення вимірювального значення теплопровідності *t* за формулою (11).

Результати занести в таблицю П1.

5. РОЗРАХУНОК ПОГРІШНОСТЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ K_T і P_K.

Погрішності визначення K_T і P_K є випадковими. Значення погрішностей нормовані, виходячи з розрахункової величини похибки приладу (± 10%) у всьому діапазоні значень теплопровідності.

Розрахунок погрішності визначення K_T проводиться за формулою:

$$\overset{0}{\Delta}(\bar{K}_T) = \frac{t_p \cdot \sigma_{KT}}{\bar{K}_T}, \qquad (12)$$

де: $\overset{0}{\Delta}(\bar{K}_T)$ - випадкова погрішність визначення теплової провідності тепломіра; *tp* - коефіцієнт Стьюдента (для *n*=5 *tp*=2,78 при довірчої імовірності *P*=0,95).

$$\tilde{\sigma}_{\bar{K}_T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(K_{T_i} - \bar{K}_T)^2}{n(n-1)}}, \qquad (13)$$

де: $\tilde{\sigma}_{\bar{K}_T}$ - середньоквадратичне відхилення теплової провідності тепломіра Вт/К ; *n* - число вимірів (*n*=5); $\bar{K}_T$ - середнє значення провідності тепломіра, Вт/К:

$$\bar{K}_T = \frac{\sum_{i=1}^{5} K_{T_i}}{5} \qquad (14)$$

Розрахунок погрішності визначення *Рк* проводиться за формулами:

$$\overset{0}{\Delta}(\bar{P}_K) = \frac{t_p \cdot \tilde{\sigma}_{P_K}}{\bar{P}_K}, \qquad (15)$$

де: $\overset{0}{\Delta}(\overline{P}_K)$ - випадкова погрішність визначення виправлення на контактний тепловий опір зразка, не ідентичність і закладення термопар.

$$\tilde{\sigma}_{\overline{P}_K} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(P_{K_i} - \overline{P}_K)}{n(n-1)}}, \qquad (16)$$

де: $\tilde{\sigma}_{\overline{P}_K}$ - середньоквадратичне відхилення виправлення на контактний тепловий опір зразка, не ідентичність і закладення термопар.

$$\overline{P}_K = \frac{\sum_{i=1}^{5} P_{K_i}}{5}, \qquad (17)$$

де: $\overline{P}_K$ - середнє значення виправлення на контактний тепловий опір зразка, не ідентичність і закладення термопар, $м^2К/Вт$.

6. ПРОТОКОЛ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таблиця П1 - Основні параметри зразка й результати експерименту

Для дослідного зразка:

h=… м d=… м S=… м^2 m=… кг

t_c	n_0, дел	n_t, дел	K_T, Вт/К	P_K	P_0	C_C, Дж/К	σ_C	A_t	t	λ, Вт/(м К)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25										
50										
75										
100										
125										

Завдання. Виконати розрахунки та заповнити протокол досліджень.

7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

7.1. Забороняється робота вимірника при відсутності захисного заземлення.

7.2. Живлення вимірника здійснюється від мережі змінного струму напругою 220В.

7.3. Необхідно пам'ятати, що розігрів вимірювального стільника відбувається до температури + 400°С, тому після експерименту неприпустимо дотикатися до внутрішніх частин вимірювального стільника. Зміну зразка можна робити тільки після охолодження деталей вимірювальної стільнику до кімнатної температури.

8. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що собою являє процес теплопровідності? Сформулюйте гіпотезу Фур'є.
2. Принцип роботи вимірника теплопровідності.
3. Порядок виконання дослідження теплопровідності.

ДОДАТКИ

Таблиця Д1 - Постійні вимірники, отримані при градуюванні

Температура, ºС	$P_K, \times 10^{-4}$ $(м^2 \cdot K)$/Вт	C_C, Дж/К	$C_M(t)$, Дж/К	K_T, Вт/К
50	8,7	17,1108	392	0,118
100	6,5	17,4600	400	0,078
150	6,7	17,6783	405	0,076
200	6,7	17,8092	408	0,074

Позначення символів табл. 1:

Рк - виправлення, що враховує тепловий опір контакту, не ідентичність і опір закладення термопар; C_C - повна теплоємність стержня; $C_M(t)$ – теплоємність міді; *Кт* - теплова провідність пластин тепломіра.

Таблиця Д2 - Вибір висоти зразка залежно від очікуваного значення теплопровідності

λ, Вт/(м К)	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-1.0	1.0-2	більше 2
h 10^{-3} , м	0.5-1.0	1-2	2-3	3-5	більше 5

Таблиця Д3.- Дані, які необхідні при експлуатації вимірювача

t_c ,ºС	C_M ,Дж/(кг К)	λ_M ,Вт/(м К)	A_t ,К/мВ
1	2	3	4
-100	345	407	37,8
-75	385	401	32,5
-50	365	395	29,0
-25	373	390	26,8
0	376	387	25,0
25	385	384	24,8
50	392	381	24,5
75	396	379	24,6
100	400	377	24,7
125	403	376	24,8
150	405	375	25,0
175	406	374	25,0
200	408	373	25,0
225	410	373	24,9

1	2	3	4
250	412	372	24,8
275	415	372	24,5
300	417	371	24,2
325	420	370	24,0
350	422	368	23,8
375	423	367	22,8
400	425	365	23,75

Позначення символів таблиці 3:

t_c - температура стержня, ºС; C_M - питома теплоємність міді, Дж/(кг К);

λ_M - теплопровідність міді, Вт/(м К); A_t - чутливість термопари хромель- алюмель, К/мВ.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

1. **Шатунов, Е.С.** Теплофизические измерения в монотонном режиме. «Энергия», 1972.
2. **Сергеев, С.А** Метрологические основы теплофизических измерений. «Стандарт», 1972.
3. Правила технической эксплуатации установок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации установок потребителей. «Проминь», Днепропетровск, 1973.
4. **Кингери, У.Д.** Введение в керамику. - М.: Стройиздат, 1964.
5. **Кржижановский, Р.Е., Штерн, З.Ю.** Теплофизические свойства неметаллических материалов. – Л.: Энергия, 1973.