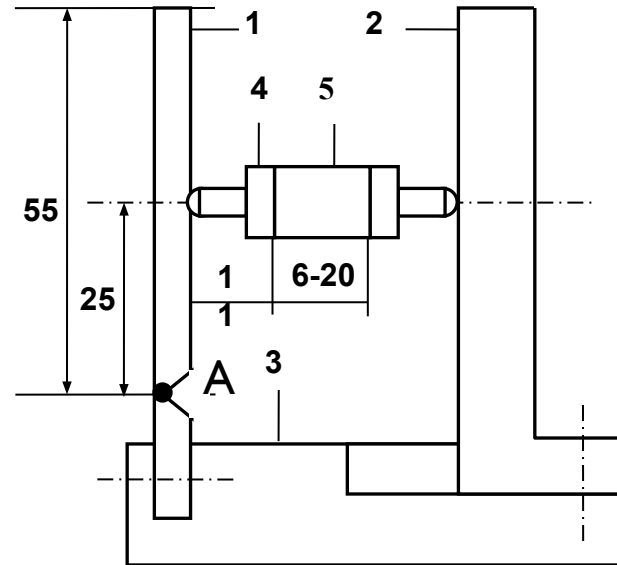
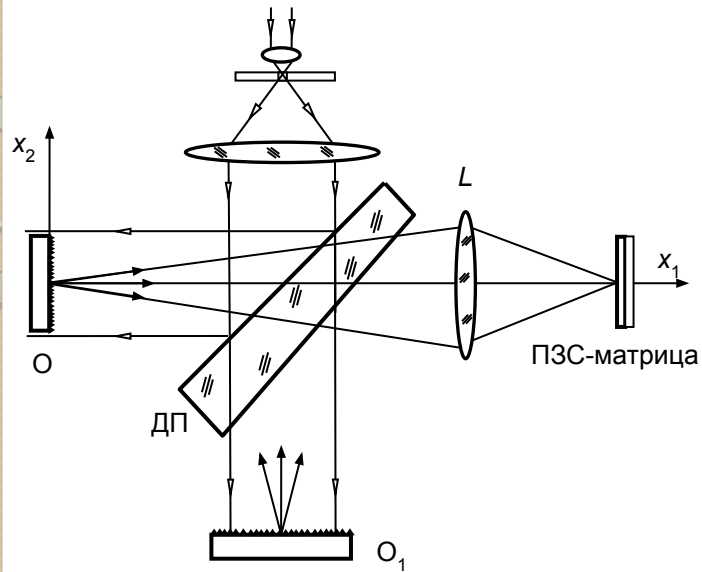


АМИРАГЯН А. А., ЗАКАРЯН К. С., КРУГЛОВ А. Б., КРУГЛОВ В. Б.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТКЛР, КТ И МОДУЛЯ ЮНГА ДИОКСИДА УРАНА С ДОБАВКАМИ ГАДОЛИНИЯ

Схема интерферометра



Измерительная
ячейка:

- 1 – объектное
зеркало;
- 2 – опора;
- 3 – основание;
- 4 – шток;
- 5 – образец;

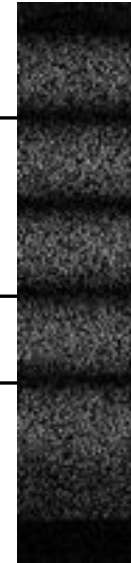
а)



б)



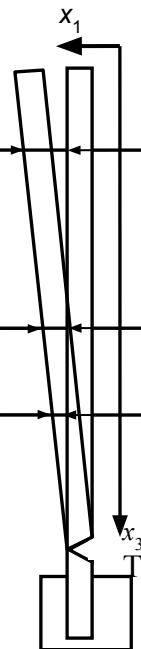
в)



г)

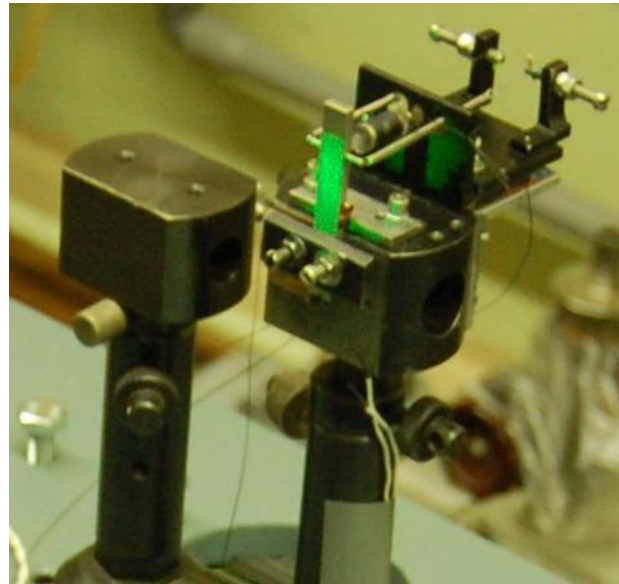
$$\Delta l = 4 \cdot (\lambda/2)$$

$$\delta(\Delta l) = \lambda/2$$



**Спекл-интерференционная картина изгиба
пластины**

Общий вид дилатометра



Погрешность измерений ТКЛР.

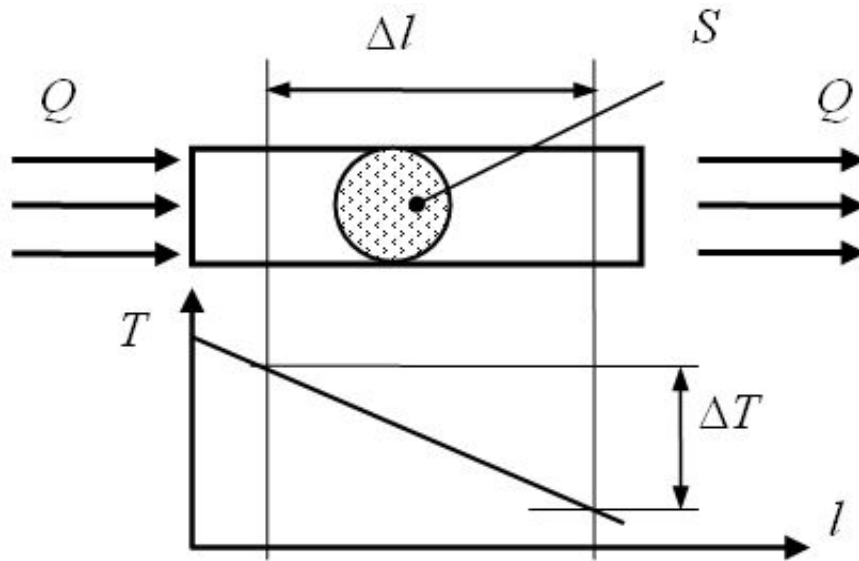
Тестовые измерения

$$\alpha = \frac{\lambda/2}{l_0} \cdot \frac{\Delta k}{\Delta T} - \frac{l_k}{l_0} \alpha_k, \quad \delta(\Delta l_0) \approx 0,1 \frac{\lambda}{2}, \quad \delta(\Delta T) = 0,04 \text{ К.}$$

$$\alpha = 1 \cdot 10^{-6}, \text{ К}^{-1}, \quad \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \approx 20 \%. \quad \alpha = 10 \cdot 10^{-6}, \text{ К}^{-1}, \quad \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \approx 2 \%.$$

Образец	$\alpha_{\text{изм}},$ $10^{-6}, \text{ К}^{-1}$	$\alpha_{\text{ср}},$ $10^{-6}, \text{ К}^{-1}$	$\Delta \alpha / \alpha,$ %	$\alpha_{\text{ср}},$ $10^{-6}, \text{ К}^{-1}$
Сталь 12Х18Н10Т	16,3	16,1	2,5	16,2
	15,9			
	16,1			
	16,2			
	16,1			
Армко	12,0	12,2	2,5	11,7
	12,3			
	12,2			
МЗ	16,1	16,3	1,8	16,2
	16,4			
	16,3			

Измерение КТ методом стационарного осевого потока

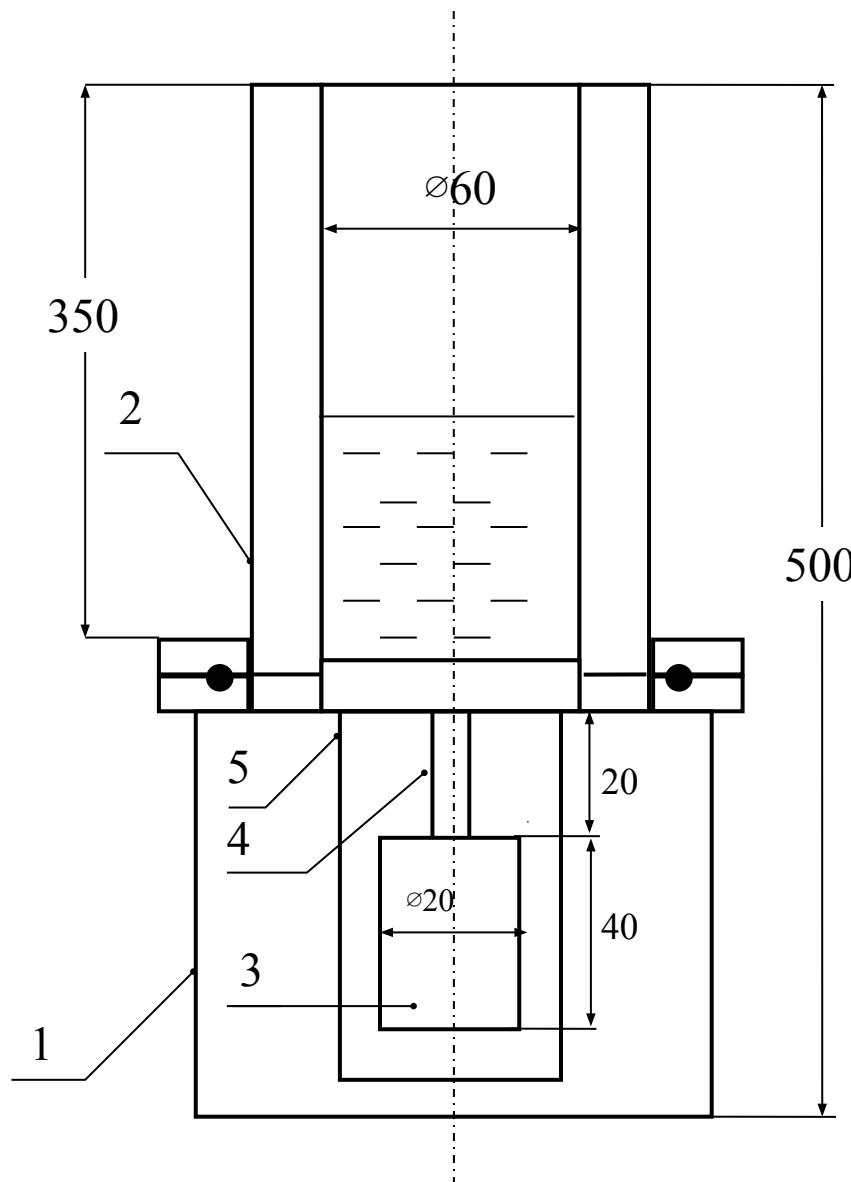


$$\bar{\lambda} = \frac{Q}{S} \frac{\Delta l}{(T_1 - T_2)}$$

$$\frac{\delta \lambda}{\lambda} = \frac{\delta(\Delta l)}{\Delta l} + \frac{\delta S}{S} + \frac{\delta Q}{Q} + \frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T}$$

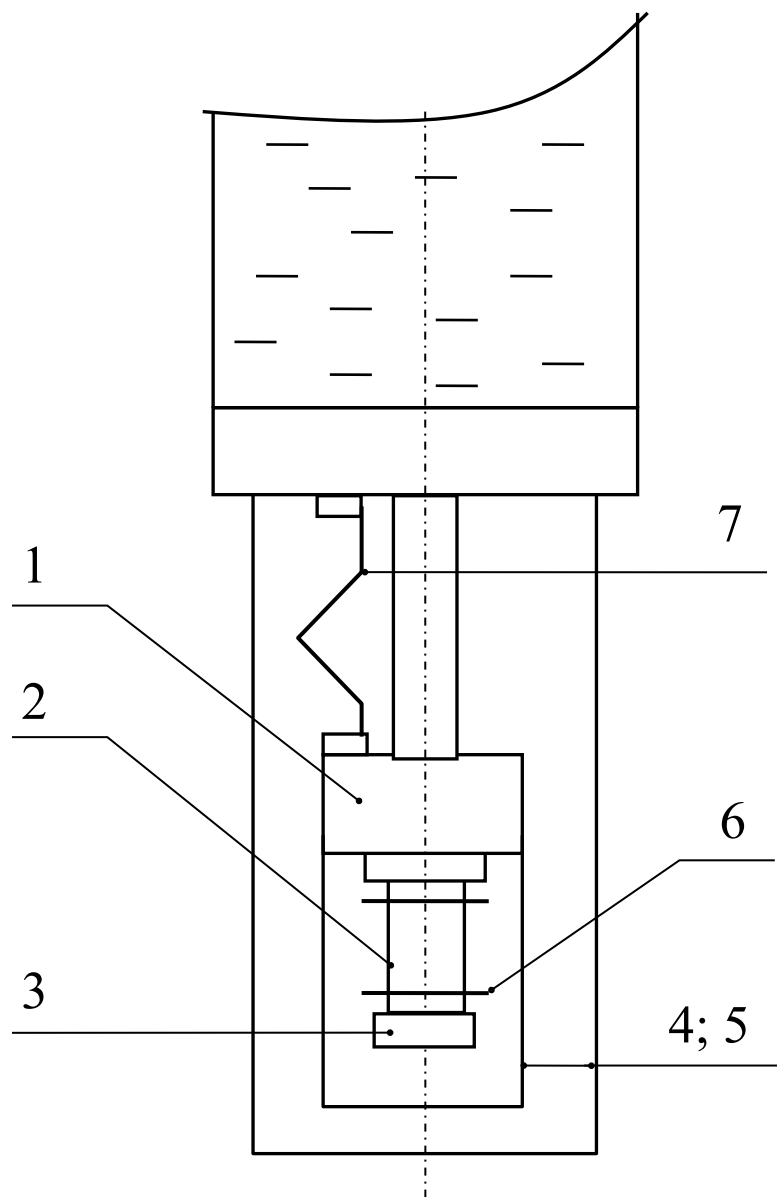
$$\frac{\delta \lambda}{\lambda} \leq 5 \cdot 10^{-2}$$

Конструкция вакуумного объема



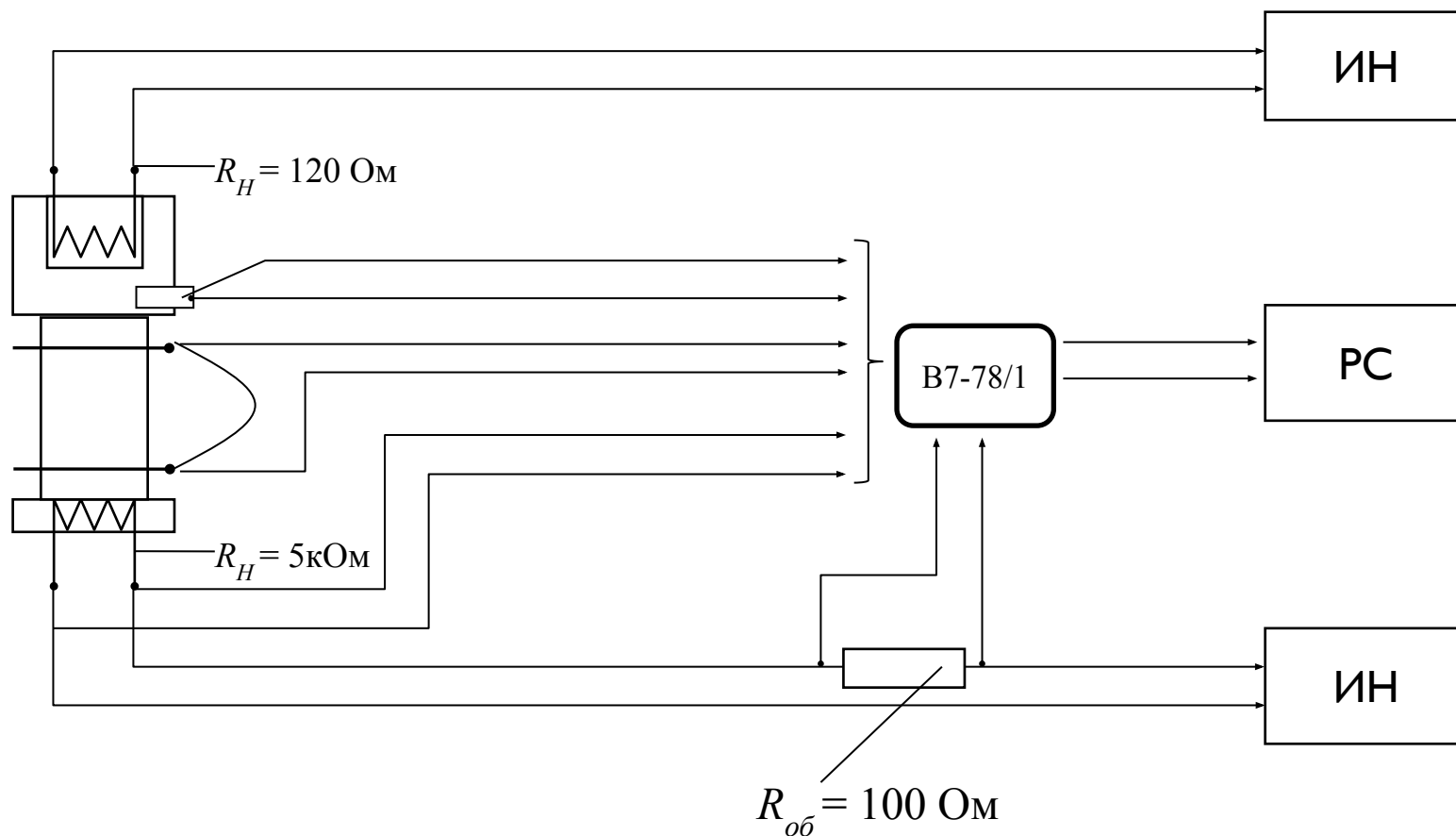
- 1 – вакуумная камера;**
- 2 – дно криостата;**
- 3 – измерительная ячейка;**
- 4 – трубка подвески;**
- 5 – экран;**

Конструкция измерительной ячейки

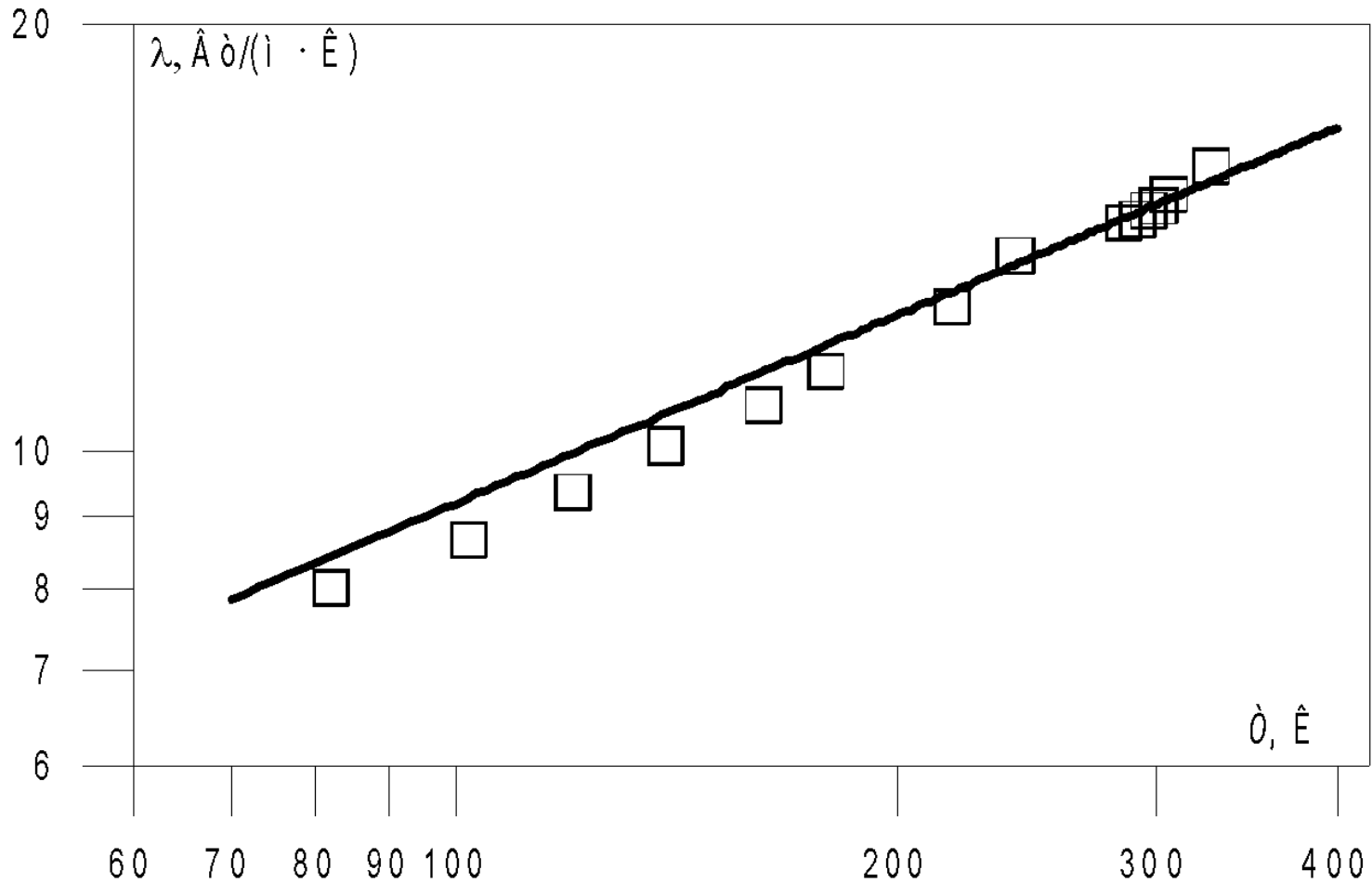


- 1 – основание;**
- 2 – исследуемый образец;**
- 3 – нагреватель;**
- 4, 5 – экраны;**
- 6 – теплопровод с пая дифференциальной термопары;**
- 7 – тепловой контакт;**

Измерительная схема установки



Тарировочные измерения

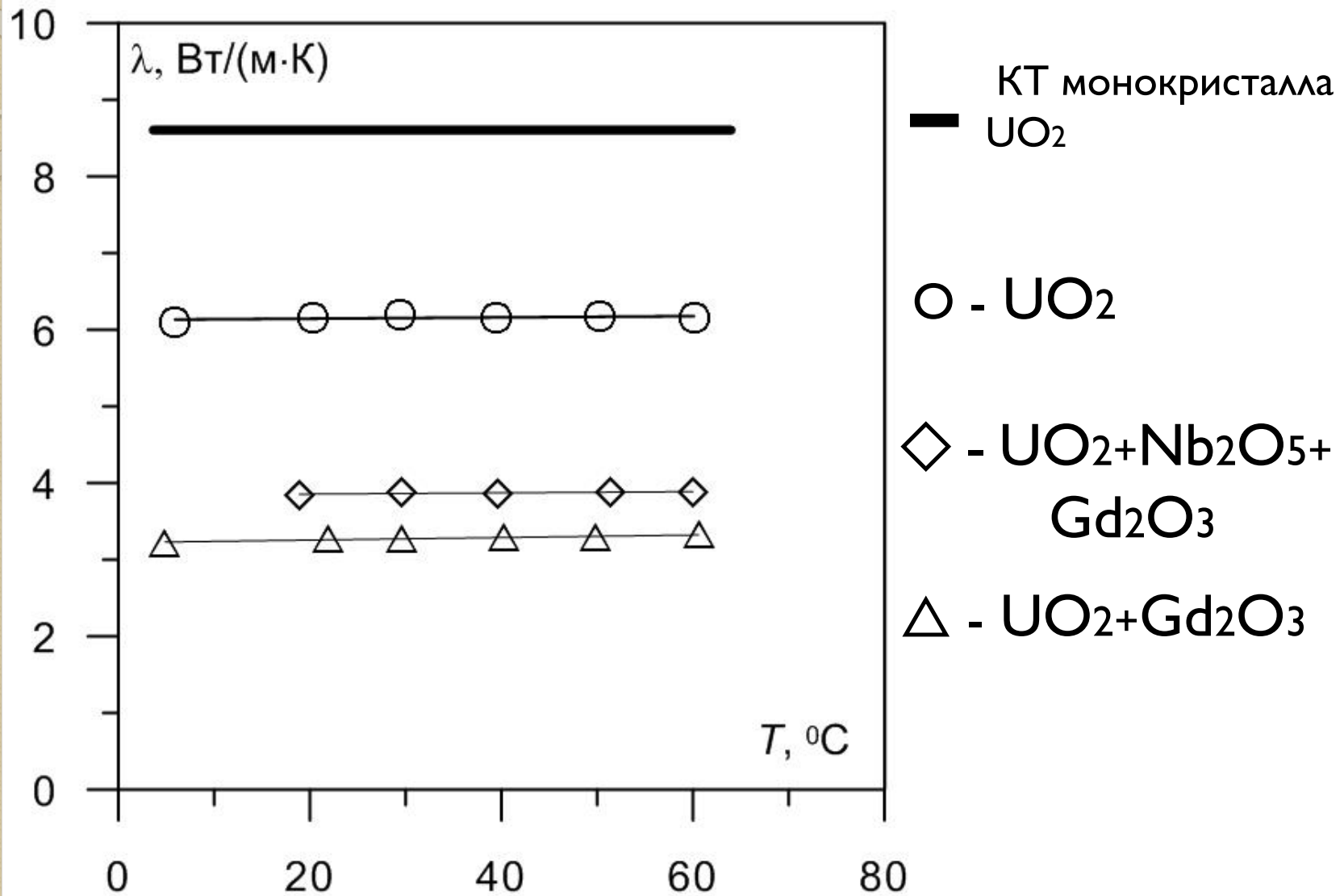


КТ стали 12Х18Н10Т:

□ - тарировочные измерения;

— - Кожевников И.Г., Новицкий Л.А. Справочник, Гост 8.140.82.

Результаты измерений



Определение Модуля Юнга

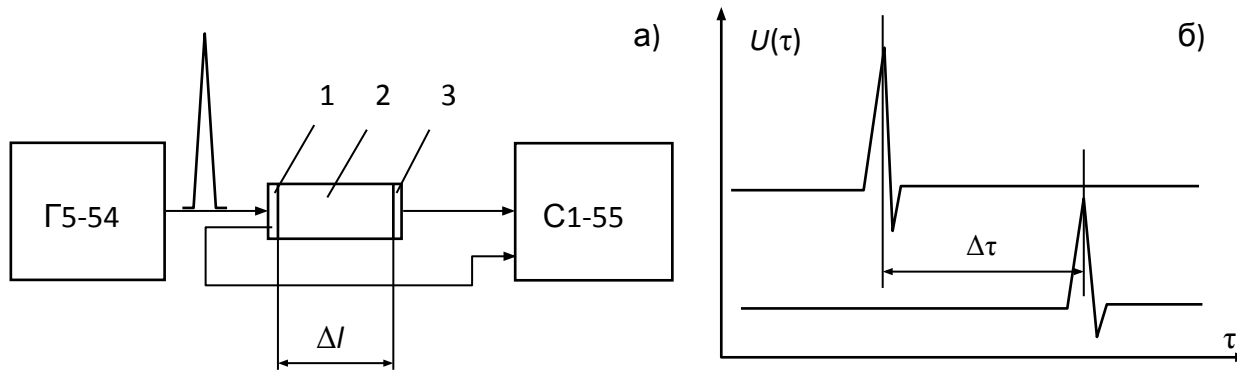


Схема измерения скорости продольных упругих волн (а) и характерный вид (б) регистрируемых сигналов: 1, 3 –пьезопреобразователи; 2 –образец

$$v_l = \Delta l / \Delta \tau,$$

где Δl – длина образца, а $\Delta \tau$ время распространения импульса.

Модуль Юнга E определяется по формуле:

$$E = \rho v_l^2 \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

где ρ - плотность, v_l - скорость звука, μ - коэффициент Пуассона.

Результаты измерений ТКЛР, КТ, v_l образцов диоксидов урана

Измерения ТКЛР, КТ, v_l при температурах 20 – 60 °С.

Образец	КТ, λ , Вт/(м·К)	ТКЛР, α , 10^{-6} , К ⁻¹	v_l , 10^3 , м/с	Е, ГПа
UO ₂	6,2	9,2	5,11	202
UO ₂ + 5 % Gd ₂ O ₃	3,3	8,6	-	-
UO ₂ + 5 % Gd ₂ O ₃ + Nb ₂ O ₅	3,9	8,4	-	-



Спасибо за внимание!