

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВА АЭС

**М. А. Эргашева**

Наманганский государственный университет

**Н. З. Гоибова**

Наманганский инженерно технологический институт.

### АННОТАЦИЯ

В данной статье освещено использование и разработка метода лазерного определения температуропроводности, удельной теплоёмкости, излучательной способности различных топливных элементов АЭС при очень высоких температурах. Он позволяет исследовать свойства твёрдых материалов до 300 К, который используется при анализе тепловых потоков в реакторе и изучение возможности охлаждения активной зоны реактора после аварии.

**Ключевые слова:** АЭС, импульс лазера, температуропроводность, лазерный рефлектометр, вакуумную камеру, фотоумножитель, инертного газа.

### ВВЕДЕНИЕ

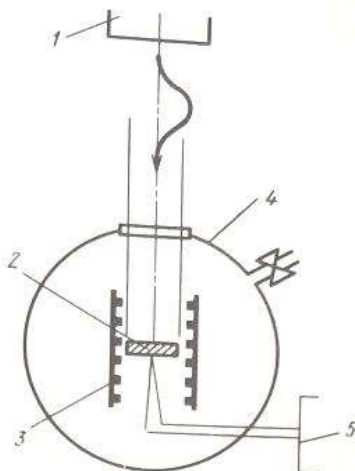
Недавно были разработаны методы лазерного определения температуропроводности, удельной теплоемкости, излучательной способности и оптических констант элементов топлива АЭС при очень высоких температурах. Эти константы используются при анализе тепловых потоков в реакторе и изучении возможности охлаждения активной зоны реактора после аварии. Данные по излучательной способности дополнительно позволяют достоверно измерить температуру расплавленного топлива пирометрическим методом в высокотемпературных экспериментах.

### МЕТОДОЛОГИЯ

Сообщалось о большом числе экспериментов по определению температуропроводности, удельной теплоемкости топлива АЭС лазерным методом [1]. Он позволяет исследовать свойства твердых материалов до ~ 300 К. Если материал помещался в подходящие капсулы, то измерения могли проводиться даже в более широком диапазоне температур и для жидких

материалов. Принцип действия лазерного метода измерения схематически показан на рис. 1.

Небольшой образец в виде диска помещается в вакуумную камеру и нагревается до заданной температуры. Когда температура выравнивается, импульс лазера мгновенно повышает температуру в некоторой точке поверхности образца. Повышение температуры в центре обратной стороны диска регистрируется термопарой или оптическим пирометром.



**Рис.1. Лазерный метод измерения теплофизических свойств материалов;**

1-лазер; 2-образец; 3-нагреватель; 4- вакуумно-газовая камера; 5-измеритель температуры.

Обеспечивая глубину зоны нагрева лазерным излучением, сравнимую с толщиной образца, и учитывая, что длительность лазерного импульса мала и сравнима со временем распространения температуры через образец, температуропроводность образца  $a$ ,  $\text{см}^2/\text{с}$ , определяется по формуле

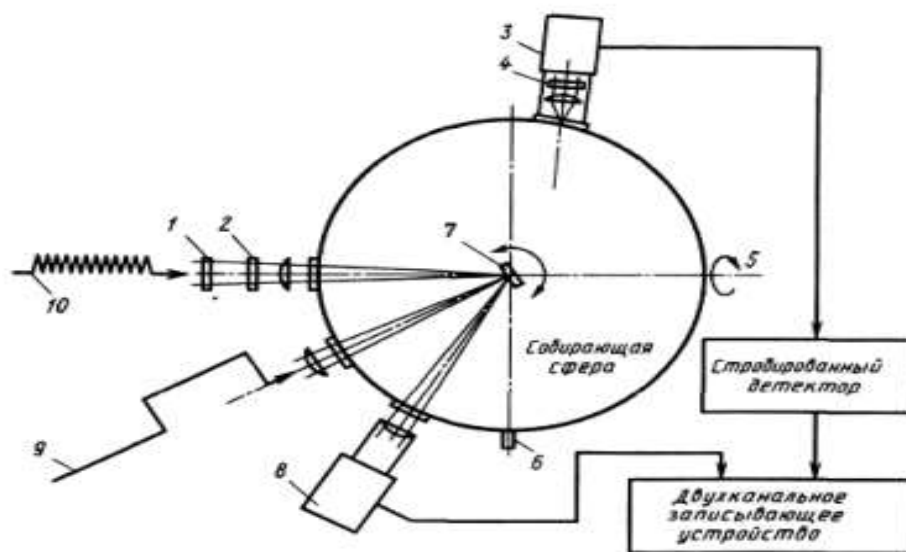
$$a = 1.37x^2 / (\pi^2 t_{1/2}) \quad (1)$$

где  $x$ -толщина образца, см;  $t_{1/2}$  - время, с, необходимое для достижения обратной стороной образца половины максимума температуры. С помощью лазерного метода удельная теплоемкость образца определяется измерением поглощенной плотности потока энергии лазерного импульса и максимума температуры. Основная трудность заключается в точном определении поглощенной энергии лазерного излучения. Для решения этой проблемы предложено закреплять на образце тонкий гладкий диск из углерода в целях увеличения коэффициента поглощения лазерного излучения [1].

Лазерным методом можно измерить температуропроводность и удельная теплоемкость различных топливных элементов АЭС до температуры 1100 К [1]. Однако исследования безопасности реакторов требуют знания этих данных до температур выше 3000 К. Впервые температуропроводность  $UO_2$  и  $ThO_2$  была измерена до температуры 3000 К в Центре Атомных Исследований (CEA) в г. Фонтэнэ-о-Роз [2]. В лаборатории КфК (К f К) предлагают исследовать расплав  $UO_2$ , помещенный в тонкостенные вольфрамовые емкости [3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Специальный метод измерений разработан фирмой ТУИ совместно с Объединенным исследовательским центром, г. Испра [4]. Определение температуропроводности расплавленных элементов топлива АЭС заключалось в двустороннем нагреве диска непрерывным излучением  $CO_2$  –лазера. Мощность лазерного излучения устанавливалась около 220 Вт, так чтобы каждый луч плавил половину диска. Дополнительно ванна расплава периодически нагревалась модулированным  $CO_2$  -лазером мощностью 45 Вт с частотой 0,3 и 0,03 Гц. По разности фаз колебаний температуры, измеряемой пирометрами на верхней и нижней поверхностях диска, вычислялась температуропроводность. С помощью этого метода измерены температуропроводности  $UO_2$  и топлива АЭС, содержащего плутоний.



2. Схема лазерного рефлектометра:

1-Полуволновая пластинка; 2-анализатор 3-фотоумножитель;

4- интерференционный фильтр; 5- изменение азимутального положения и угла облучения мишени; 6- насосная линия; 7- образец; 8- скоростной пирометр; 9- лазерный греющий импульс прямоугольной формы; 10- диагностирующее лазерное излучение, модулированное с частотой 2000 кГц

В лаборатории  $K f K$  разработан метод измерения поглотительной и излучательной способностей непрозрачных керамических материалов при температурах, близких к их точке плавления. Для этого изготовлен специальный суммирующий сферический лазерный рефлектометр (рис. 2) с лазерным нагревом материалов. С помощью этого устройства можно измерить излучательная способность урана, тора, карбида урана и некоторых высокотемпературных керамических веществ при температурах до 4000 К [5].

Небольшой образец помещается в собирающую сферу диаметра 200 мм, имеющую небольшие окна для ввода лазерного излучения. Фокусированным излучением непрерывного  $\text{CO}_2$  –лазера мощностью 500 Вт поверхность образца нагревают до температуры свыше 4000 К за 1-10 мс. Поверхность зоны нагрева, около 0,5 мм в диаметре, одновременно облучают диагностирующим излучением опорного лазера. Часть отраженного от образца диагностирующего излучения изотропно рассеиваются диффузно-отражающей сферой и через отверстия малой апертуры попадает на фотоумножитель. Спектральный фильтр, помещенный перед детектором, и высокочастотная модуляция диагностирующего излучения выделяет его на фоне теплового излучения нагретого образца. По величине отраженного сигнала определяют отражательная способность образца.

Калибровку можно осуществлять по образцам с известным коэффициентом отражения. Излучательная способность  $\epsilon_\lambda$  связана с измеренной отражательной способностью  $\rho_\lambda$  законом Кирхгоффа;

$$\epsilon_\lambda(T) = 1 - \rho_\lambda(T) \quad (2)$$

Температура поверхности  $T$  образца измеряют скоростным микрометром. Во время измерений сфера наполняют инертным газом при давлении 2 бар для подавления процессов испарения. Угол наклона мишени относительно лазерного излучения меняется поворотом образца. В качестве диагностирующих лазеров можно использовать He-Ne-лазер мощностью 15

мВт, лазер на ионах Kr и Ag мощностью около 100 мВт, что позволяет проводить измерения на 10 длинах волн в спектральном диапазоне 0,4-0,75 мкм.

## ВЫВОД

Экспериментальная установка с оптической скамьей, измерительной сферой, детектирующей системой и пирометром на переднем плане за сферой расположена вакуумная камера, содержащая лазерное устройство измерения интенсивности испарения. На заднем плане виден CO<sub>2</sub> - лазер и установленные на нем излучатели диагностирующих лазеров. Излучательная способность твердого окисла и расплава UO<sub>2</sub> при температурах до 4150 К на длине волны диагностирующего излучения 0,63 мкм приведена в качестве. [5].

Дополнительно с ростом температуры испарение, колебание поверхности и выброс газовых пузырьков повышают шероховатость поверхности, что приводит к диффузному отражению падающего излучения. Чтобы избежать этих нежелательных эффектов, планируется провести дальнейшие эксперименты при облучении больших поверхностей мощным лазером на ИАГ и увеличении давления инертного газа в измерительной сфере.

## REFERENCES

1. Takahashi.Y and Murabayashi. M.(1975). Measurementt of Thermal Properrties of Nuclear Materials. J. Nucl. Sci. Technol.,12,133.
2. Weilbacher. J. C. (1972). Diffusivite thermique de l'oxide d'uranium et de l'oxydecde thorium a haute temperature, High Temperatures – High Pressures. 4. 431.
3. Schulz. B. (1981). Privatee communication. Institute of Matteredials and Solid State Research. Nuclear Research Center Karlsruhe. FRG.
4. Pel. D., Ritcher. J., Tasman. H.A. and Schmidt. H. E. (1979). Measurement of the Thermal Diffusivity of Molten Nuclear Fuel. Reactor Safety Programme Progress Report. January-Junee 1979. Joint Research Centre. Ispra, Italy.p. 53.
5. Bober. M.,Karow. H.U., and Muller.K. (1980). Study of the Spectral Reflectivity and Emissivity of Liquid Ceramics. High Temperatures – High Pressures. 12. 161.