

# ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Архипов, И.К. Жарова, О.С. Татаринцева, В.Т. Кузнецов, В.Д. Гольдин

Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН (ИПХЭТ СО РАН)

*Представлены экспериментальная установка и методика измерения интегрального коэффициента излучения поверхности материалов с различными теплофизическими свойствами в диапазоне температур от 100°C до 1000°C радиационным методом с использованием в качестве эталонного образца медной пластины с оксидным покрытием.*

*Ключевые слова: теплообмен, коэффициент излучения, теплоизоляционные и конструкционные материалы, радиационный метод, абсолютно черное тело.*

Развитие современной высокотемпературной теплофизики требует создания и всестороннего исследования конструкционных и теплоизоляционных материалов, способных обеспечивать значительное увеличение рабочих температурных интервалов, повышенную долговечность и экономичность изделий. При использовании таких материалов в условиях высоких температур наряду с кондуктивной и конвективной составляющими существенный вклад в суммарный теплообмен может вносить излучение их поверхности. Для учета лучистого теплообмена необходимы экспериментальные зависимости интегрального коэффициента излучения  $\epsilon$  от температуры. В технической литературе и в справочниках эти зависимости приведены для ограниченного числа материалов, как правило, металлов [1– 4]. Таблицы содержат в основном значения интегральных коэффициентов теплового излучения, а в отдельных случаях – значения коэффициентов, соответствующих монохроматическому излучению, то есть для узкого диапазона длин волн.

При разработке новых ТИМ необходимо проводить измерения  $\epsilon$  в требуемых диапазонах температур.

Для измерения интегрального коэффициента излучения поверхности различных материалов в широком интервале температур используется целый ряд методов и соответствующих конструкций экспериментальных установок. Достаточно полный обзор по данной проблеме представлен в монографии [3].

Анализ литературных данных показал, что наибольшее распространение в практике лабораторных исследований получили радиационный, калориметрический и нестационарные методы. Суть определения интегрального коэффициента излучения радиационным методом заключается в сравни-

тельном измерении специальным термоприемником лучистой энергии, испускаемой исследуемым и абсолютно черным телом или телом, коэффициент излучения которого известен. Калориметрический метод основан на непосредственном измерении поглощенной лучистой энергии, нестационарные методы – на измерении температуры нагретого образца при его остывании в условиях вакуума.

В настоящей работе для проведения исследований по влиянию температуры на интегральный коэффициент излучения материалов различной природы и назначения использовали радиационный метод и экспериментальную установку, схема которой приведена на рисунке 1.

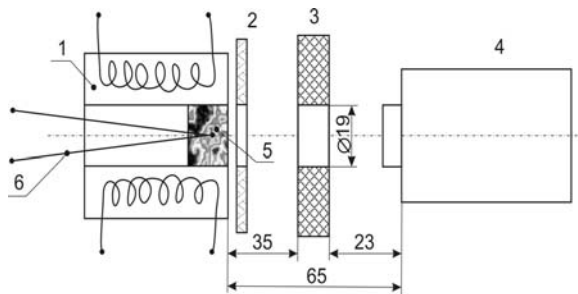


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – электрическая горизонтальная печь; 2 – теплозащитный экран; 3 – затвор; 4 – измеритель мощности излучения; 5 – исследуемый образец; 6 – термопара

Установка состоит из электрической печи, теплозащитного экрана, затвора и измерителя мощности излучения ИМО-2Н.

Исследуемый образец диаметром 20 мм и толщиной 10 мм помещали в горизонтальную электрическую печь МА 2/14. На расстоянии 35 мм от торца исследуемого образца установлен экран, позволяющий отсекасть тепловой поток от печи.

Приемная головка измерителя мощности находилась на расстоянии 65 мм от торца образца. Между образцом и приемной головкой установлен затвор. Температуру образца измеряли с помощью хромель-алюмелевой термопары, размещенной в центре образца, и потенциометра постоянного тока ПП 63. Погрешность измерения температуры не превышала 5 %.

Измеритель мощности (рисунок 2) включает в себя блок регистрации, приемную головку, ослабитель мощности, визир и механизм юстировки. Принцип его работы заключается в поглощении приемным элементом мощности теплового излучения и преобразовании ее в эквивалентное значение электрического напряжения (ЭДС), которое регистрируется показывающим прибором блока регистрации.

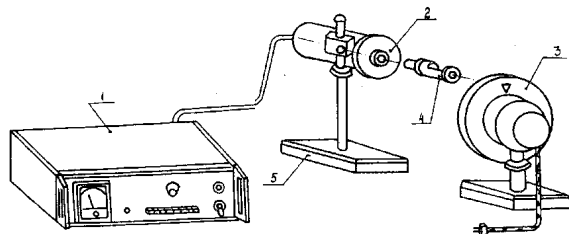


Рисунок 2. Измеритель мощности излучения ИМО-2Н: 1 – блок регистрации; 2 – приемная головка; 3 – ослабитель мощности; 4 – визир; 5 – механизм юстировки

Приемная головка (рисунок 3) состоит из рабочей и компенсационной термоэлектрических секций, размещенных в конических выемках массивного металлического внутреннего корпуса, который расположен внутри термостата, образованного наружным корпусом и кожухом. Приемная головка закреплена на механизме юстировки. Для повышения точности юстировки прибора при измерении средней мощности предусмотрен визир. Блок регистрации содержит усилитель постоянного тока и вольтметр М 2027, отградуированный в единицах измерения мощности (Вт) и энергии (Дж). В блоке регистрации имеется возможность вывода информации на внешнее устройство.

Для измерения мощности излучения в широком диапазоне (от 1 до 100 Вт) используется дисковый ослабитель мощности, установленный между источником и приемником излучения. Величина коэффициента ослабления мощности определяется числом секторных окон и величиной угла сектора. Сменные диски обеспечивают пределы измерения средней мощности излучения 3, 10, 30 и 100 Вт. Прибор ИМО-2Н аттестован на длинах волн 0,63; 1,06 и 10,6 мкм. Основная при-

веденная погрешность измерения мощности излучения составляет 5 %.

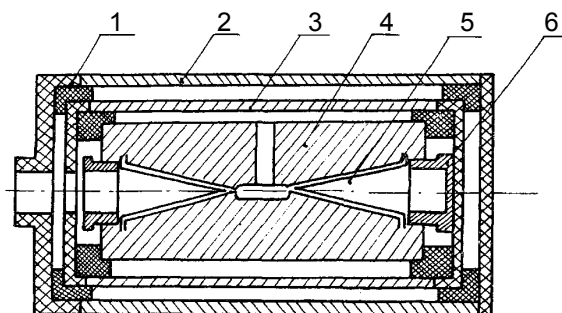


Рисунок 3. Схема приемной головки: 1 – прижимной фланец; 2 – наружный корпус; 3 – кожух; 4 – внутренний корпус; 5 – термоэлектрические секции; 6 – прижимная гайка

Процесс измерения  $\varepsilon$  заключается в следующем (см. рисунок 1). Исследуемый образец нагревают в электрической печи до заданной температуры, затем открывают затвор, после чего измеряют мощность излучения торцевой поверхности нагретого образца, поступающую на вход приемника. Темп нагрева образца составляет 2...3 град/мин. Мощность излучения измеряют при непрерывном нагреве образца в диапазоне температур 100...1000 °С с шагом по температуре 50 °С.

Для определения интегральных коэффициентов излучения исследуемых образцов ТИМ радиационным методом проводили аналогичные измерения мощности излучения эталонного образца. Условия, диапазон нагрева и геометрические характеристики схемы измерений для эталонного и исследуемых образцов были идентичны. В качестве эталонного материала использовали медь, длительное время выдержанную при температуре 1000 °С и покрытую слоем окиси. Согласно данным работы [5] используемый эталонный материал можно считать серым телом с интегральным коэффициентом излучения  $\varepsilon_e$ , равным 0,78.

Проведенные оценки радиационного метода измерения  $\varepsilon$  показали, что влияние конвективной и кондуктивной составляющих теплового потока незначительно. В рассматриваемом диапазоне температур регистрируемый тепловой поток полностью обусловлен радиационной составляющей. Интегральный коэффициент излучения определяли измерением потоков излучения эталонного и исследуемых образцов ТИМ, нагретых до одинаковой температуры. Это позволило исключить погрешность определения величины  $\varepsilon$ , обусловленную нелинейностью рабочей характеристики измерителя мощности излучения.

# ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 1

Теплофизические характеристики исследуемых материалов при температуре окружающей среды (22 °С) [6]

№ образца	Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость, кДж/(кг·К)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
1	Нитрильный каучук	1190	1,382	0,157
2	Фенольно-кварцевый композит	1640	1,200	0,350
3	Углепластик на фенолоформальдегидном связующем	1310	0,850	0,480
4	Углепластик на эпоксидном связующем	1310	1,230	0,560
5	Стеклопластик на эпоксидном связующем	1860	0,900	0,250
6	Пробка	430	1,842	0,063

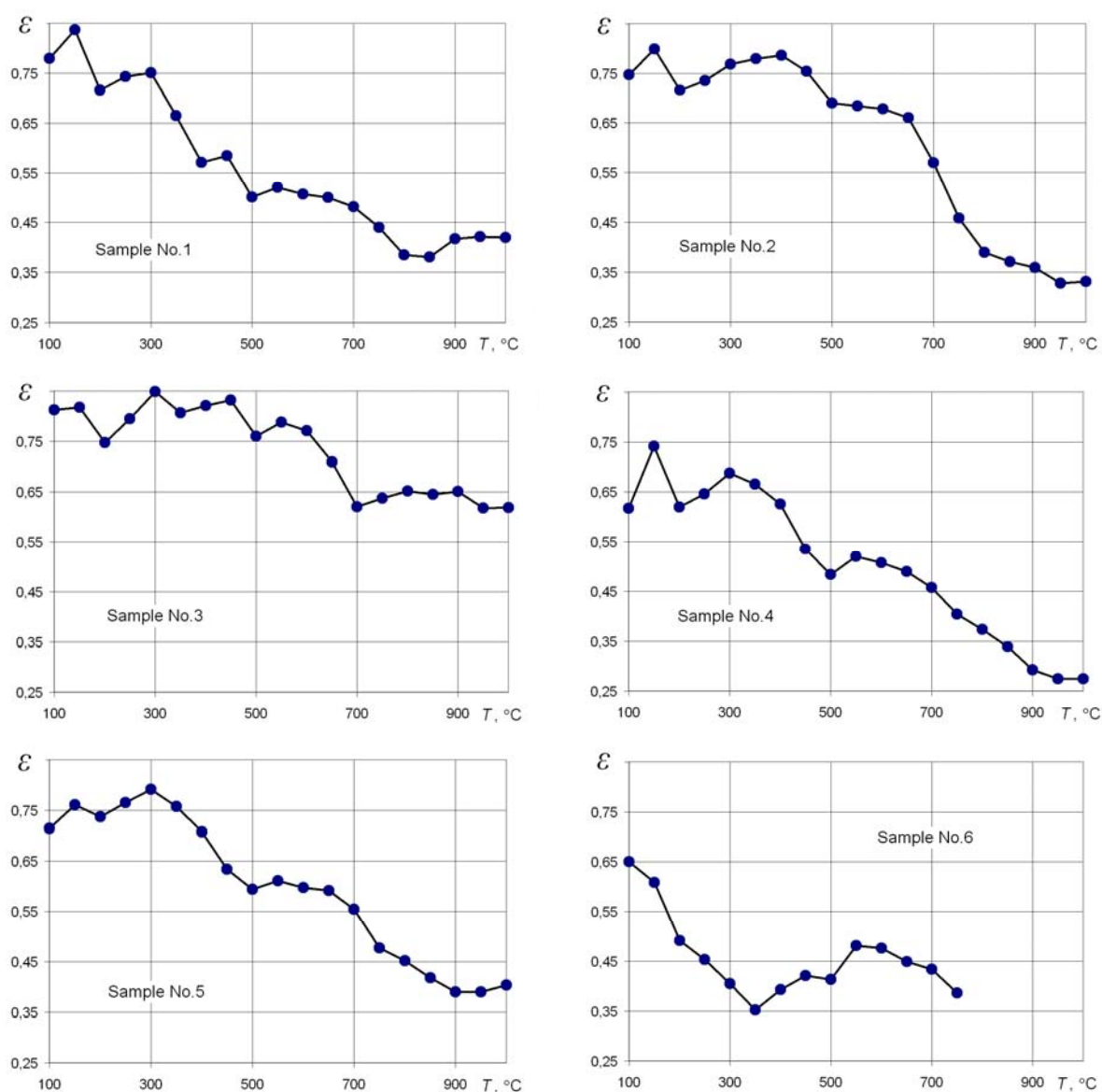


Рисунок 4. Зависимость интегральных коэффициентов излучения образцов конструкционных и теплоизоляционных материалов от температуры нагрева

Интегральный коэффициент излучения для каждого значения температуры  $T_i$  рассчитывали по формуле:

$$\varepsilon(T_i) = \varepsilon_e \frac{Q(T_i)}{Q_e(T_i)},$$

где  $Q(T_i)$ ,  $Q_e(T_i)$  – измеренные значения мощности излучения при нагреве до температуры  $T_i$  исследуемого и эталонного образцов соответственно.

Объектами для исследований служили конструкционные и теплоизоляционные материалы с различными теплофизическими свойствами (таблица 1).

Результаты измерения интегральных коэффициентов излучения образцов этих материалов в диапазоне температур 100...1000 °С приведены на рисунке 4.



Рисунок 5. Фотография образцов до и после нагрева до температуры 1000 °С

Из приведенных зависимостей видно, что для всех исследуемых образцов интегральный коэффициент излучения уменьша-

ется с ростом температуры от значений  $\varepsilon = 0,65...0,80$  при  $T=100$  °С до  $\varepsilon = 0,35...0,45$  при  $T=1000$  °С. Это связано, по-видимому, с температурной деструкцией поверхности образцов при нагревании, что подтверждается их внешним видом до и после нагрева (рисунок 5).

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования доказали возможность применения радиационного метода для измерения с высокой степенью достоверности интегральных коэффициентов излучения поверхности образцов широкого спектра теплоизоляционных и композиционных материалов. Разработанная методика может быть использована в практике лабораторных испытаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков А.В. Теплообмен: Справочник / А.В. Лыков – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
2. Блох А.Г. Теплообмен излучением: Справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Излучательные свойства твердых материалов / Под общ. ред. А.Е. Шейндлина. М.: Энергия, 1974. – 472 с.
4. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
5. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
6. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент / Под ред. Е.Е. Аметистова, В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

## РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

О.С. Татаринцева, А.В. Литвинов

Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН (ИПХЭТ СО РАН)

*Предложена экспериментально-расчетная методика оценки времени сушки увлажненного минераловатного ковра в зависимости от параметров материала (среднее начальное влагосодержание слоя, удельная нагрузка) и сушильного агента (температура, влажность, скорость), позволяющая рассчитывать габариты камеры сушки на любую производительность.*

*Ключевые слова: Сушка, увлажненный материал, влагосодержание, теплоизоляционные плиты, плотность, удельная нагрузка, скорость, воздуха, реверсия, методика расчета.*

Особенности процесса сушки влажных материалов обусловлены характером изме-

нения локального влагосодержания с течением времени, поэтому для выбора рациональ-