минобрнауки россии

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«Череповецкий государственный университет»**

|  |  |
| --- | --- |
| Институт (факультет) | Инженерно-технический институт |
| Кафедра | Теплоэнергетики и теплотехники |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

|  |  |
| --- | --- |
| по дисциплине | Тепломассообмен |
| на тему | Исследование теплообмена излучением в пламенной печи |

Выполнил студент группы 3ТТб-01-31оп

{{Name}}

Преподаватель

Шестаков Николай Иванович

д.т.н.

Дата представления работы

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_г.

Заключение о допуске к защите

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Оценка \_\_\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

количество баллов

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Череповец 2020 год

**Цель работы:** исследование процесса лучистого теплообмена в пламенной печи.

**Задачи работы:** определить приведенную степень черноты в системе тел «газ-кладка-металл» в процессе лучистого теплообмена, рассчитать площадь поверхности теплообмена, плотность излучения тел и температуру поверхности.

|  |  |
| --- | --- |
| Ф.И.О. | Задание |
| {{Name}} | {{task}} |

**Теоретические сведения**

Тепловое излучение – процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волн, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. Тепловое излучение — сложный процесс, связанный с двойным преобразованием энергии: сначала переход тепловой энергии в излучение электромагнитных волн, затем движение волн (фотонов) и, наконец, поглощение электромагнитных колебаний поглощающей средой или телом (абсорбция) — еще одно преобразование энергии.

**Проведение расчетов**

На рис.3 показана схема рабочего пространства пламенной печи, заполненного греющими газами 3 (продуктами сгорания топлива), излучающими лучистую энергию на нагреваемую поверхность 1 (обычно, поверхность металла), и на внутреннюю поверхность теплоизолированной кладки печи 2. Кладка переизлучает полученную энергию на поверхность 1.



Рис. 3. Схема рабочего пространства пламенной печи; 1 − нагреваемая поверхность; 2 − внутренняя поверхность кладки; 3 – греющие газы.

При расчете теплообмена излучением в пламенных печах задаются геометрические размеры рабочего пространства: ширина *s*, высота *h*, длина *l* (в данном случае длина *l* намного больше других размеров). Кроме того, задаются температура *Т*1 и степень черноты *ε1* нагреваемой поверхности, температура *Т3* и состав греющих газов, которые определяют степень черноты газов *ε3*. Целью расчета является определение результирующей плотности теплового потока *q*р1, подводимой к нагреваемой поверхности 1 за счет излучения.

Рассмотрим уравнения, описывающие теплообмен излучением в системе тел 1, 2, 3, показанных на рис. 1. Все тела считаются серыми.

Эффективное излучение с поверхности тела 1 определяется выражением:

 (1)

где *Q*1, *Q*отр1, *Q*пад1 − собственное, отраженное и падающее излучение для тела 1; *R1* − коэффициент отражения тела 1, равный *R1* = 1 − *A*1, где *A*1 = *ε1* − поглощательная способность тела 1 (равная степени черноты *ε1*).

Падающее излучение для тела 1 определятся выражением:

 (2)

где *Q*эф1, *Q*эф2, *Q*эф3 − эффективные излучения тел 1, 2, 3; *φ*1,1, *φ*2,1, *φ*3,1 − обобщенные угловые коэффициенты излучения с тел 1, 2, 3 на тело 1. Так как тело 1 является плоским, то его коэффициент самооблучения *φ*1,1 = 0.

С учетом выражений (1) и (2), получим:

 (3)

Поверхность кладки 2 принимается в расчетах адиабатной, т.к. кладка является теплоизолированной. Поэтому результирующее излучение для поверхности 2 равняется нулю: *Q*р2 = 0. Так как *Q*р2 = *Q*эф2 − *Q*пад2, где *Q*эф2, *Q*пад2 − эффективное и падающее излучение для тела 2, то выполняется равенство:

*Q*эф2 = *Q*пад2. (4)

Падающее излучение для тела (3) определяется выражением:

 (5)

где *φ*1,2, *φ*2,2, *φ*3,2 − обобщенные угловые коэффициенты излучения с тел 1, 2, 3 на тело 2.

С учетом выражений (4) и (5) можно написать:

 (6)

Эффективное излучение тела 3 (газа) принимается равным его собственному излучению, т.к. отраженное излучение у газа отсутствует:

*Q*эф3 = *Q*3. (7)

Объединяя уравнения (3), (6) и (7), получим систему уравнений:

 (8)

Запишем систему уравнений (8) в виде:

 (9)

где коэффициенты *А*, *B*, *C*, *D* определяются выражениями:

 (10)

Решая систему уравнений (9), получим:

 (11)

Эффективное излучение первого тела *Q*эф1 связано с результирующим излучением для этого тела *Q*р1 выражением:

 (12)

где *А*1 = ε1 − поглощательная способность тела 1. Из выражения (12) находим:

 (13)

Величина *Q*р1 в расчетах должна получиться отрицательной; это значит, что тело 1 получает теплоту излучением, а не отдает ее.

**Задание 1.** Рассчитать теплообмен излучением в системе тел, показанных на рис. 1, при следующих условиях. Ширина рабочего пространства печи *s* = 2 м; высота рабочего пространства *h* = 0,1; 0,5; 1; 2; 5; 10 м; длина рабочего пространства намного больше размеров *s* и *h*. Греющие газы имеют следующий объемный состав: *r*CO2 = 0,13; *r*Н2O = 0,11; *r*N2 = 0,76; давление газов в печи *р* = 100 кПа, температура газов *t*3 = 1200 °С. Температура поверхности металла *t*1 = 20 °С; степень черноты поверхности металла ε1 = 0,8.

**Методика решения**. Расчет ведем на 1 м длины печи. Определяем площади поверхностей тел 1, 2, 3, м2:

*F*1 = *s* ⋅1;

*F*2 = (*s* + 2*h*)⋅1;

*F*3 = *F*1 + *F*2.

Определяем объем газа, м3, и эффективную длину луча, м:

*V* = *s* ⋅*h*⋅1;

*l*эф = 0,9⋅(4*V*/*F*3).

Определяем парциальные давления излучающих газов (СО2 и Н2О):

*р*CO2 = *r*CO2⋅*р*, кПа;

*р*Н2O = *r*Н2O⋅*р*, кПа.

Определяем произведения парциальных давлений на эффективную длину луча: (*р*CO2⋅*l*эф) и (*р*Н2O⋅*l*эф), кПа⋅м.

По номограмме для углекислого газа для значений *t*3 и (*р*CO2⋅*l*эф) определяем степень черноты углекислого газа εСО2.

По номограмме для водяного пара для значений *t*3, (*р*Н2O⋅*l*эф) и *р*Н2O определяем степень черноты водяного пара εН2О и поправку β.

Рассчитываем степень черноты газов:

ε3 = εСО2 + β⋅εН2О.

Определяем собственные излучения тел 1 и 3, Вт:



где *с*0 = 5,67 Вт/(м2К4) − коэффициент излучения абсолютно черного тела; *Т*1 = *t*1 + 273; *Т*3 = *t*3 + 273 − абсолютные температуры тел 1 и 3.

Определяем обобщенные угловые коэффициенты:

*φ*1,2 = 1 − ε3;

*φ* 2,1 = (1 − ε3)⋅*F*1/*F*2;

*φ*2,2 = (1 − ε3)(1− *F*1/*F*2);

*φ* 3,1 = *F*1/*F*3;

*φ* 3,2 = *F*2/*F*3.

По формулам (10) определяем коэффициенты *A*, *B*, *C*, *D*.

По формулам (11) определяем эффективные излучения *Q*эф1 и *Q*эф2, Вт.

По формуле (13) определяем результирующее излучение *Q*р1 для тела 1.

Рассчитываем плотность результирующего излучения для тела 1:

*q*р1 = *Q*р1/*F*1, Вт/м2.

Для проверки величину *q*р1 нужно также рассчитать по выражению:



где εпр − приведенная степень черноты в системе тел «газ-кладка-металл»:



Определяем температуру поверхности кладки *Т*2. Поскольку результирующее излучение для кладки *Q*р2 = 0, то выполняется



где *А*2 = ε2 − поглощательная способность тела 2, равная его степени черноты.

Из последнего выражения находим температуру поверхности кладки:



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| h, м | *р*CO2, кПа | *р*Н2O, кПа | F1 , м2 | F2 , м2 | F3 , м2 | *V*  ,м3 | *l*эф, м | εСО2 | εН2О | β | ε3 | Q1, Вт | Q3, Вт | *Q*эф1,  Вт | *Q*эф2,  Вт | *q*р1 | εпр | t2 |
| 0.1 | {{Pco2}} | {{Ph2o}} | {{F11}} | {{F21}} | {{F31}} | {{V1}} | {{L1}} | {{epsco21}} | {{epsh2o1}} | {{B1}} | {{eps31}} | {{Q11}} | {{Q31}} | {{Qf11}} | {{Qf21}} | {{q1}} | {{epspr1}} | {{t21}} |
| 0.5 | {{Pco2}} | {{Ph2o}} | {{F12}} | {{F22}} | {{F32}} | {{V2}} | {{L2}} | {{epsco22}} | {{epsh2o2}} | {{B2}} | {{eps32}} | {{Q12}} | {{Q32}} | {{Qf12}} | {{Qf22}} | {{q2}} | {{epspr2}} | {{t22}} |
| 1 | {{Pco2}} | {{Ph2o}} | {{F13}} | {{F23}} | {{F33}} | {{V3}} | {{L3}} | {{epsco23}} | {{epsh2o3}} | {{B3}} | {{eps33}} | {{Q13}} | {{Q33}} | {{Qf13}} | {{Qf23}} | {{q3}} | {{epspr3}} | {{t23}} |
| 2 | {{Pco2}} | {{Ph2o}} | {{F14}} | {{F24}} | {{F34}} | {{V4}} | {{L4}} | {{epsco24}} | {{epsh2o4}} | {{B4}} | {{eps34}} | {{Q14}} | {{Q34}} | {{Qf14}} | {{Qf24}} | {{q4}} | {{epspr4}} | {{t24}} |
| 5 | {{Pco2}} | {{Ph2o}} | {{F15}} | {{F25}} | {{F35}} | {{V5}} | {{L5}} | {{epsco25}} | {{epsh2o5}} | {{B5}} | {{eps35}} | {{Q15}} | {{Q35}} | {{Qf15}} | {{Qf25}} | {{q5}} | {{epspr5}} | {{t25}} |
| 10 | {{Pco2}} | {{Ph2o}} | {{F16}} | {{F26}} | {{F36}} | {{V6}} | {{L6}} | {{epsco26}} | {{epsh2o6}} | {{B6}} | {{eps36}} | {{Q16}} | {{Q36}} | {{Qf16}} | {{Qf26}} | {{q6}} | {{epspr6}} | {{t26}} |

Вывод:

1. Провели исследование процесса лучистого теплообмена в пламенной печи;