

## 2.5. Излучение газов

1. Определить плотность потока собственного излучения газов, находящихся в нагревательной печи при температуре 900 °С, если в состав газов по объему входит 10 % углекислого газа и 5 % водяного пара. При этом полное давление газов составляет 0,1 МПа. Эффективная длина пути луча 1,5 м.

*Решение.*

Плотность потока собственного излучения газов рассчитывают по формуле (34):

$$E_z = \varepsilon_z \sigma_o T_z^4 .$$

Степень черноты собственного излучения углекислого газа и водяного пара

$$\varepsilon_z = \varepsilon_{CO_2} + \beta \varepsilon_{H_2O}^* ,$$

где  $\varepsilon_{CO_2}$ ,  $\varepsilon_{H_2O}^*$  и  $\beta$  определяются по номограммам (прил. 2).

При использовании номограмм необходимо знать произведение парциальных давлений углекислого газа и водяного пара на эффективную длину пути луча:

$$p_{CO_2} l = r_{CO_2} p l = 0,10 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 1,5 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{м} = 0,15 \text{ МПа} \cdot \text{м};$$

$$p_{H_2O} l = r_{H_2O} p l = 0,05 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 1,5 = 0,75 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{м} = 0,075 \text{ МПа} \cdot \text{м}.$$

По номограммам прил. 2 при температуре газов 900 °С находим  $\varepsilon_{CO_2} = 0,22$ ;  $\varepsilon_{H_2O}^* = 0,092$ ,  $\beta = 1,05$ .

Тогда степень черноты газовой смеси равна:

$$\varepsilon_z = \varepsilon_{CO_2} + \beta \varepsilon_{H_2O}^* = 0,22 + 0,092 \cdot 1,05 = 0,3166,$$

а плотность потока собственного излучения газов

$$E_z = \varepsilon_z \sigma_o T_z^4 = 0,3166 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 = 339844,9 \text{ Вт/м}^2.$$

*Ответ:* 339844,9 Вт/м<sup>2</sup>.

2. Через газоход прямоугольного сечения 0,3×0,4 м проходят продукты сгорания, содержащие по объему 10 % водяного пара и 15 % двуокиси уг-

лерода. Общее давление газовой смеси 0,1 МПа. Температура продуктов сгорания 500 °С. Температура стенок газохода 100 °С. Степень черноты стенок газохода 0,85. Определить плотность результирующего теплового потока от продуктов сгорания к стенке газохода.

*Решение.*

При использовании номограмм необходимо знать парциальные давления углекислого газа и водяного пара, а также длину пути луча (37):

$$l = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{ABL}{2AL + 2BL} = 3,6 \frac{AB}{2A + 2B} = 3,6 \frac{0,3 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,4} = 0,309 \text{ м.}$$

Произведения парциальных давлений двуокиси углерода и водяного пара на длину пути луча:

$$p_{CO_2} l = 15 \cdot 0,309 = 4,629 \text{ м} \cdot \text{кПа};$$

$$p_{H_2O} l = 10 \cdot 0,309 = 3,09 \text{ м} \cdot \text{кПа}.$$

По номограммам прил. 2 определяем:

$$\varepsilon_{CO_2} = 0,08; \varepsilon_{H_2O}^* = 0,08, \beta = 1,1.$$

Тогда степень черноты смеси газов

$$\varepsilon_z = \varepsilon_{CO_2} + \beta \varepsilon_{H_2O}^* = 0,08 + 1,1 \cdot 0,08 = 0,168.$$

Для определения приведенной степени черноты в системе газ–оболочка используем выражение (37):

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_z} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,168} + \frac{1}{0,85} - 1} = 0,163.$$

Тогда плотность результирующего теплового потока от продуктов сгорания к стенке газохода составит

$$q_w = \varepsilon_{np} \sigma_o (T_z^4 - T_w^4) = 0,163 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (773^4 - 373^4) = 3120,9 \text{ Вт/м}^2.$$

*Ответ:* 3120,9 Вт/м<sup>2</sup>.

3. Определить плотность потока собственного излучения изотермического слоя газа толщиной 0,25 м при температуре 1000°C. Газ содержит 12% CO<sub>2</sub> и 6% H<sub>2</sub>O. Общее давление газа 1 бар.

*Ответ:* 14368,9 Вт/м<sup>2</sup>.

4. Рассчитать плотность лучистого теплового потока от дымовых газов к поверхности прямоугольного газохода со сторонами  $A = 0,8$  м и  $B = 1,5$  м. Газы содержат 7,5 % H<sub>2</sub>O и 16 % CO<sub>2</sub>. Общее давление газов 100 кПа. Средняя температура газов 600°C.

*Указание.*

Длину пути луча рассчитывают по формуле

$$l = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{ABL}{2AL + 2BL} = 1,8 \frac{AB}{A + B}.$$

*Ответ:* 8510 Вт/м<sup>2</sup>.

5. Камера, имеющая форму параллелепипеда со сторонами  $A = 2$  м,  $B = 3$  м и  $L = 5$  м, заполнена продуктами сгорания. Температура газов 1400 °С. Давление смеси газов 0,1 МПа, парциальное давление углекислого газа 11,5 кПа, парциальное давление водяного пара 23 кПа. Найти плотность потока собственного излучения данной газовой смеси.

*Указание.*

Длину пути луча рассчитывают по формуле

$$l = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{ABL}{2AL + 2BL + 2AB}.$$

*Ответ:* 65584 Вт/м<sup>2</sup>.

6. Рассчитать плотность потока собственного излучения продуктов сгорания природного газа на экранную поверхность топки парового котла размерами 6×8×12 м. Температура продуктов сгорания 2000 °С. Состав продуктов сгорания:  $r_{CO_2} = 0,015$ ,  $r_{H_2O} = 0,09$ . Общее давление продуктов сгорания 1 бар.

*Ответ:* 300,4 кВт/м<sup>2</sup>.

7. В трубе диаметром 200 мм и длиной 1 м находится смесь сухого воздуха и двуокиси углерода. Полное давление и температура смеси равны

соответственно 100 кПа и 900 °С. Парциальное давление двуокиси углерода равно 9 кПа. Найти степень черноты находящейся в трубе смеси газов.

*Указание.*

Поскольку смесь состоит из лучепрозрачного сухого воздуха и  $\text{CO}_2$ , то степень черноты смеси газов будет равна степени черноты двуокиси углерода, которую найдем по рис.1 П2 при соответствующих парциальном давлении и длине пути луча

$$l = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{\frac{\pi d^2}{4} l}{\pi d l} = 0,9d.$$

*Ответ:* 0,06.

8. В нагревательной печи температура газов по всему объему постоянна и равна 1200 °С. Объем печи 12 м<sup>3</sup>, площадь поверхности ограждений 32 м<sup>2</sup>. Общее давление продуктов сгорания 100 кПа, парциальные давления водяных паров 14,5 кПа и углекислого газа 7,4 кПа. Рассчитать степень черноты излучающей газовой смеси и плотность потока собственного излучения продуктов сгорания.

*Ответ:* 0,226; 60432 Вт/м<sup>2</sup>.

9. Водяной пар с температурой 873 К и давлением 0,3 МПа заполняет сосуд в форме параллелепипеда с размерами 200×300×400 мм. Определить степень черноты собственного излучения пара.

*Указание.*

Степень черноты водяного пара найдем по рис.2 П2 при соответствующих температуре и произведении парциального давления на длину пути луча.

*Ответ:* 0,30.

10. Водяной пар с температурой 250 °С при давлении 0,1 МПа проходит по трубопроводу диаметром 100 мм. Определить степень черноты собственного излучения пара.

*Ответ:* 0,26.

11. Определить плотность результирующего теплового потока от газовой среды к стенке газохода, если температура газов 800 °С. Диаметр газохода 0,4 м. Температура стенок газохода 200 °С. Степень черноты газохода

0,75. Продукты сгорания содержат по объему 12 % двуокиси углерода и 7,5 % водяного пара. Общее давление газовой смеси 0,1 МПа.

*Указание.*

Длину пути луча находят по формуле:

$$l = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{\frac{\pi d^2}{4} l}{\pi d l} = 0,9d.$$

*Ответ:* 9835,7 Вт/м<sup>2</sup>.

12. В хлебопекарной печи 2,5×3×6 м температура газов равна 250 °С. В газах содержится 10% CO<sub>2</sub> и 7% водяных паров. Определить плотность теплового потока, излучаемого газами к поверхности хлеба, если температура этой поверхности 190 °С, а ее степень черноты – 0,9. Общее давление газа 1 бар.

*Указание.*

Длину пути луча находят по формуле:

$$l = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{ABL}{2AL + 2BL + 2AB}.$$

*Ответ:* 552,9 Вт/м<sup>2</sup>.

13. Цилиндрическая камера сгорания диаметром 1,5 м и длиной 4 м заполнена светящимся пламенем жидкого топлива со средней температурой газов 1473 К. Считая излучение пламени серым со степенью черноты 0,4, определить тепловой поток, воспринимаемый боковой поверхностью камеры сгорания. Температура металлической стенки камеры сгорания, охлаждаемой водой, равна 423 К, степень черноты стенки 0,85.

*Ответ:* 1,9 МВт.

14. Средняя температура дымовых газов в газоходе нагревательной печи 900 °С. Степень черноты обмуровки газохода 0,8. Определить температуру внутренней поверхности газохода, если плотность теплового потока излучением составляет 3400 Вт/м<sup>2</sup> при степени черноты газа 0,16.

*Ответ:* 834 °С.