**Методические указания по выполнению практических работ по**

**дисциплине «Процессы и аппараты нефтегазопереработки».**

**Практическая работа № 2.3**

**Тема:** Решение задач на тему «Теплопроводность через цилиндрическую стенку».

**Практическая работа № 2.3.**

**Тема:** Решение задач на тему «Теплопроводность через цилиндрическую стенку».

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.**

**Теплопроводность через цилиндрическую стенку**

Многие промышленные печи имеют цилиндрическую форму, например, барабанные вращающиеся, печи кипящего слоя, тигельные печи для плавки цветных металлов, муфельные печи твердосплавной промышленности и др. Причем их поперечные размеры могут изменяться в достаточно широких пределах.

****

*Рис. 1.1 Распределение температур по толщине плоской стенки*

Необходимо помнить, что в тех случаях, когда толщина стенки (*r2-r1)* по сравнению со средним диаметром цилиндрического кольца футеровки *dср = (2r1+2r2)/2=(r1+r2)* очень мала *(r2-r1)/(r2+r1) ≤ 0,003*, то влиянием кривизны стенки можно пренебречь и расчет потерь теплоты производить по формулам для плоской стенки, что приводит к ошибке, не превышающей 2...3%. При уменьшении диаметра печи величина погрешности будет все время увеличиваться, что, естественно, скажется на точности расчетов.

Рассмотрим в качестве примера корпус электрической муфельной печи (муфель и электронагреватели на схеме не показаны), имеющий футеровку, состоящую из двух слоев, помещенных в металлический кожух толщиной 10 мм (рис.1.2). Отсюда r2 = 390+10 = 400 мм, а r1 = 200 мм. Тогда (400-200)/(400+200) = 0,33, т.е. более чем на порядок выше критического значения. Следовательно, в данном случае использование расчетных формул для плоской стенки невозможно.

*Рис. 1.2 Футеровка муфельной электрической печи* ****

При выводе соответствующих формул для цилиндрических стенок приходится учитывать, что по мере удаления от оси размеры цилиндрической поверхности увеличиваются и, соответственно, плотность теплового потока *q* будет уменьшаться, т.е. последняя является величиной переменной, зависящей

от радиуса цилиндра. Поэтому при выводе формул, позволяющих рассчитать тепловые потери через цилиндрические стенки, используют понятие погонной плотности теплового потока, т.е. теплового потока, приходящегося на единицу длины стенки, Вт/м

𝑞пог= 𝑄/𝑙.

Рассмотрим однослойную цилиндрическую стенку длиной *l* с внутренним радиусом *r1* и наружным *r2* (рис.1.3). Внутренняя и наружная поверхности имеют температуры соответственно *t1* и *t2*, причем *t1>t2*. Выделим на некотором расстоянии *r* от оси цилиндра элементарный слой толщиной *dr*.

****

*Рис. 1.3. Однослойная цилиндрическая стенка*

Согласно закону Фурье количество теплоты, проходящей через этот слой, равно

𝑄= −𝜆∙𝐹 = −𝜆∙2𝜋𝑟∙𝑙.

Тогда

𝑞𝑙= −𝜆2𝜋𝑟.

Разделив переменные и проинтегрировав выражение, получим

𝑡= −ln𝑟+𝐶.

Подставляя в это выражение граничные значения переменных (при *r = r1 t = t1*, а при *r* ***=*** *r2 t = t2)* и определяя постоянную интегрирования С, получаем следующую расчетную формулу, Вт/м:

𝑞𝑙=

а тепловой поток для всей стенки составит, Вт

𝑄

В случае многослойной цилиндрической стенки, выполненной из различных материалов и состоящей, например, из трех слоев (рис. 1.4), используя найденную величину qпог можно легко вывести формулу для расчета тепловых потерь трехслойной цилиндрической стенкой при стационарном тепловом состоянии, Вт

𝑄= ,

где *λ1, λ2, λ3* - коэффициенты теплопроводности материалов, из которых выполнены соответствующие слои.

В общем случае для цилиндрической стенки, выполненной из *n* слоев, формула примет вид, Вт:

𝑄= .

Температуру между слоями, число которых равно n, можно рас-считать по формуле

*𝑡𝑖+1=𝑡𝑖− ().*

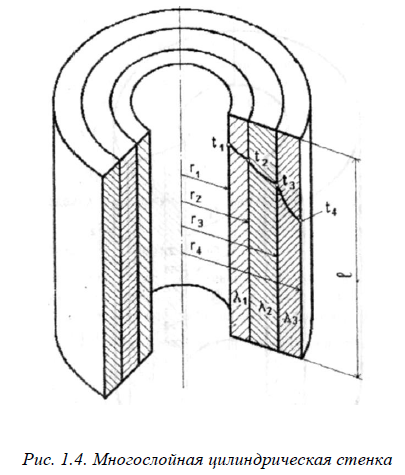
**Задача № 1**

*Для цилиндрической стенки, имеющей три слоя футеровки (рис.1.4), необходимо рассчитать:*

*- погонную плотность теплового потока;*

*- количество теплоты, которое теряется через всю цилиндрическую стенку длиной l;*

*- значения температур на границе слоев.*

**

*В рассматриваемом примере температура внутренней поверхности t1 равна 1100°С, а температура наружной поверхности t4 = 70°С. Радиусы, характеризующие расположение слоев футеровки относительно оси цилиндра, равны соответственно r1 = 1,58 м; r2 = 1,81 м; r3 = 1,93 м; r4 = 2,0 м. Коэффициенты теплопроводности материалов, Вт/(м\*К), из которых выполнены слои футеровки, равны: λ1 = 1,06; λ2 = 0,86; λ3 = 0,20. Длина печи l = 3,11 м.*

*Таблица №1*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *№ варианта* | *t1, °С* | *t4, °С* | *r1, м* | *r2, м* | *r3, м* | *r4, м* | *λ1, Вт/(м·К)* | *λ2, Вт/(м·К)* | *λ3, Вт/(м·К)* | *l, м* |
| *1* | *1300* | *50* | *1,65* | *1,91* | *1,96* | *2,05* | *1,13* | *0,89* | *0,21* | *3,20* |
| *2* | *1200* | *65* | *1,62* | *1,89* | *1,98* | *2,07* | *1,11* | *0,87* | *0,19* | *3,15* |

**Решение**

Сначала рассчитаем погонную плотность теплового потока

= 16982Вт/м2

Затем определим потери теплоты через всю цилиндрическую стенку

𝑄=𝑞𝑙∙𝑙=16982∙3.11=52814 Вт.

Температура между первым и вторым слоем составит

а между вторым и третьим слоем