

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ТЕПЛООБМЕН В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности
1-40 05 01 «Информационные системы и технологии
(по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 536.24
ББК 31.31
Т34

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«13» октября 2020 г., протокол № 4

Составитель старший преподаватель А. Э. Липский

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Методические рекомендации предназначены к практическим занятиям для студентов специальности 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)».

Учебно-методическое издание

ТЕПЛООБМЕН В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ответственный за выпуск С. Н. Хатетовский

Корректор А. А. Подошевка

Компьютерная верстка Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 32 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

1 Практическое занятие № 1. Введение в тепломассообмен.....	4
2 Практическое занятие № 2. Коэффициент теплопроводности.....	5
3 Практическое занятие № 3. Передача теплоты в стационарном режиме через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки.....	7
4 Практическое занятие № 4. Передача теплоты в стационарном режиме через ребристую поверхность.....	8
5 Практическое занятие № 5. Нестационарная теплопроводность.....	10
6 Практическое занятие № 6. Конвективный теплообмен при течении жидкости по трубе.....	11
7 Практическое занятие № 7. Свободная конвекция.....	12
8 Практическое занятие № 8. Теплообмен излучением в прозрачной среде.....	14
Список литературы	15

1 Практическое занятие № 1. Введение в тепломассообмен

Рассмотреть теоретические вопросы: тепловой поток, вектор плотности теплового потока, закон Фурье, коэффициент теплопроводности, уравнение теплопроводности.

Общие сведения

Теплопроводность – перенос теплоты посредством теплового движения микрочастиц в сплошной среде, обусловленный неоднородным распределением температуры. В чистом виде процесс происходит в твердых телах, а в жидкостях и газах – при отсутствии перемещения среды.

Теплопередача – процесс теплообмена между жидкими или газообразными средами, разделенными твердой стенкой.

Стационарным режимом называется тепловой режим, при котором температурное поле не зависит от времени.

Тепловой поток Q , Вт, – количество теплоты, передаваемой в единицу времени ($1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$).

Поверхностная плотность теплового потока q , Вт/м², – тепловой поток, проходящий через единицу площади F поверхности теплообмена:

$$q = Q / F.$$

Линейная плотность теплового потока q_l , Вт/м, – тепловой поток, отнесенный к единице длины l цилиндрической трубы:

$$q_l = Q / l.$$

Теплопроводность материала или коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К), – величина, равная отношению поверхностной плотности теплового потока q к модулю температурного градиента:

$$\lambda = q / |\text{grad } T|.$$

Зависимость теплопроводности λ_t от температуры t , °С, приблизительно можно выразить в виде линейной функции

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + bt),$$

где λ_0 – теплопроводность при 0 °С, Вт/(м · К);

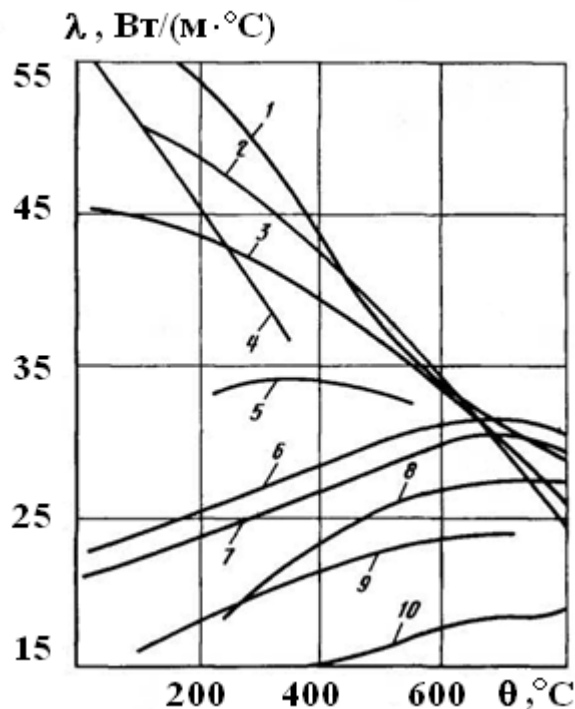
b – постоянная, зависящая от природы материала, определяется опытным путем, К⁻¹.

2 Практическое занятие № 2. Коэффициент теплопроводности

Рассмотреть методику определения коэффициента теплопроводности для сталей.

Коэффициент теплопроводности λ – это количество теплоты, передаваемое за единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при температурном градиенте, равном единице. Данный параметр напрямую характеризует не скорость передачи и выравнивания температуры, а величину тепловой энергии, которая может распространяться в структуре в единицу времени через единицу площади. Поэтому коэффициент λ в явном виде не учитывает способность любого тела аккумулировать тепло (не учитывает теплоёмкость). Коэффициент λ используется для описания процессов переноса тепловой энергии.

Коэффициент теплопроводности λ является одной из физических характеристик вещества однородных тел. Его значения определяют преимущественно экспериментальным путем. Эксперименты показывают, что коэффициенты теплопроводности твердых тел зависят от их химического состава и температуры. На рисунке 2.1 приведены зависимости $\lambda(\theta)$ для некоторых конструкционных и инструментальных материалов.



1 – твердый сплав ВК8; 2 – сталь 40; 3 – сталь 30Х; 4 – алмаз синтетический (значения по осям умножить на 10); 5 – олово; 6–8 – быстрорежущие стали Р9К5; Р19К5Ф5; Р18 соответственно; 9 – коррозионно-стойкая сталь 1Х18Н9Т; 10 – жаропрочный титановый сплав ОТ4

Рисунок 2.1 – Зависимость коэффициентов теплопроводности от температуры

Из рисунка видно, что температурные зависимости коэффициента теплопроводности имеют достаточно сложный вид. В одних случаях с увеличением θ коэффициент λ снижается, а в других возрастает, причем темп изменения λ в различных диапазонах температур может быть разным.

Значения коэффициентов теплопроводности приводят обычно в таблицах (таблицы 2.1 и 2.2) либо рассчитывают по формулам, аппроксимирующим результаты экспериментов.

Таблица 2.1 – Коэффициент теплопроводности λ материалов заготовки и инструмента (средние в диапазоне температур, возникающих при механической обработке)

Материал	Марка	λ , Вт/(м·°С)
Сталь углеродистая	40	38,5
	45	40,2
Сталь низколегированная	30X	35,2
	40X	33,9
	ШХ15	33,4
	20ХН3А	33,5
	30ХГС	36,0
Сталь аустенитного класса	20Х23Н18	21,5
	110Г13Л	22,2
	12Х18Н9Т	22,6
	14Х17Н2	25,0
Сталь инструментальная	У12	34,7
	ХВГ	27,2
	Р18	27,2
Жаропрочный сплав	ВТ4	12,9
	ХН77ТЮР	19,7
Чугун	СЧ30	39,8
Твердый сплав	ВК8	54,4
	Т14К8	33,9
Алмаз	Т15К6	27,2
	АС	520,0
Кубический нитрид бора (эль-бор)	–	41,9
Медь		361,0

Таблица 2.2 – Коэффициенты для расчета коэффициентов теплопроводности углеродистых сталей

Коэффициент	a_i	b_i	c_i
m_1	76,8	$-6,67 \cdot 10^2$	0
m_2	34,2	$-9,88 \cdot 10^2$	$8,14 \cdot 10^5$
m_3	9,3	$-3,95 \cdot 10^2$	$4,18 \cdot 10^5$

Например, Б. Е. Неймарком предложены формулы для расчета коэффициентов теплопроводности углеродистых сталей.

$$\lambda = m_1 - m_2 \Sigma + m_3 \Sigma^2, \quad (2.1)$$

где Σ – суммарное содержание всех добавок к железу, включая углерод, %;
 m_i (при $i = 1, 2, 3$) – коэффициенты, зависящие от температуры.

$$m_i = a_i - b_i \theta + c_i \theta^2, \quad (2.2)$$

значения a_i , b_i и c_i приведены в таблице 2.2.

Формула (2.2) применима при $0,1 < \Sigma < 2,0$.

3 Практическое занятие № 3. Передача теплоты в стационарном режиме через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки

Задача 1. Металлическая труба с внутренним диаметром $d_1 = 160$ мм и наружным диаметром $d_2 = 170$ мм покрыта двухслойной тепловой изоляцией. Толщина первого слоя изоляции (жароупорной) $\delta_2 = 20$ мм, второго слоя $\delta_3 = 50$ мм. Температура внутренней поверхности трубы $t_{w1} = 300$ °С, наружной поверхности второго слоя изоляции $t_{w4} = 40$ °С. Определить тепловые потери трубопровода на 1 м его длины, если коэффициент теплопроводности материала трубы $\lambda_1 = 50$ Вт/(м · град), первого слоя – $\lambda_2 = 0,11$ Вт/(м · град), второго слоя – $\lambda_3 = 0,034$ Вт/(м · град).

Решение

Тепловой поток, проходящий через стенку трубы длиной в 1 м, может быть вычислен по формуле

$$q = \frac{\pi \cdot (t_{w1} - t_{w4})}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_3} \cdot \ln \frac{d_4}{d_3}}, \quad (3.1)$$

где

$$d_3 = d_2 + 2 \cdot \delta_2 = 170 + 2 \cdot 20 = 210 \text{ мм}; \quad (3.2)$$

$$d_4 = d_3 + 2 \cdot \delta_3 = 210 + 2 \cdot 50 = 310 \text{ мм}. \quad (3.3)$$

Откуда

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot (300 - 40)}{\frac{2,303}{50} \cdot \lg \frac{170}{160} + \frac{2,303}{0,11} \cdot \lg \frac{210}{170} + \frac{2,303}{0,035} \cdot \lg \frac{310}{210}} = 125 \text{ Вт/м.}$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Стена из силикатного кирпича толщиной 250 мм имеет с одной стороны температуру минус 30 °С, а с другой – температуру 20 °С. Найти плотность теплового потока через стену и глубину ее промерзания до температуры 0 °С, считая коэффициент теплопроводности материала стены постоянным.

Задача 3. К медному стержню диаметром 20 мм и длиной 200 мм с одного конца через торец подводится теплота. Другой конец охлаждается потоком воды, которая при расходе 0,0167 кг/с нагревается от стержня на 2 °С. Найти перепад температур между концами стержня, приняв, что через боковую поверхность стержня тепловые потери отсутствуют.

Задача 4. По чугунному трубопроводу диаметром 60 × 3,5 мм движется пар с температурой 325 °С. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубе $\alpha_1 = 110 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Окружающий наружный воздух имеет температуру 20 °С.

Найти тепловые потери:

а) если трубопровод не изолирован и охлаждается воздухом с коэффициентом теплоотдачи $\alpha_2 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

б) если трубопровод изолирован слоем пеношамота толщиной 70 мм, а $\alpha_2 = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Задача 5. Варочный котел сферической формы с наружным диаметром 1200 мм сделан из нержавеющей стали. Толщина стенки котла 10 мм. Внутри находится жидкость с температурой 140 °С; снаружи котел покрыт слоем асбеста толщиной 60 мм. В цехе температура воздуха 29 °С. Коэффициент теплоотдачи внутри и снаружи котла $\alpha_1 = 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и $\alpha_2 = 18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ соответственно. После включения вентиляции в цехе температура воздуха снизилась до 23 °С, а коэффициент теплоотдачи α_2 от наружной поверхности котла увеличился в 1,6 раза. На сколько процентов возросли потери теплоты от котла?

4 Практическое занятие № 4. Передача теплоты в стационарном режиме через ребристую поверхность

Общие сведения

Для интенсификации теплопередачи между средами применяют оребрение поверхностей стенки, разделяющей эти среды. Как правило, оребрение осуществляется на той поверхности теплообмена, где имеет место малый коэффициент теплоотдачи (или большое термическое сопротивление).

Задача 1. Определить коэффициент оребрения стенки, при котором величина теплового потока увеличится вследствие оребрения в 10 раз, если оребренной является холодная поверхность стенки и известны следующие величины: коэффициент теплопроводности стенки $\lambda = 32 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$, толщина стенки без ребер $\delta = 8 \text{ мм}$, коэффициенты теплоотдачи с горячей стороны стенки $\alpha_1 = 200 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$, с холодной $\alpha_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$.

Решение

Для увеличения теплового потока в 10 раз следует во столько же раз уменьшить полное термическое сопротивление теплопередачи. Полное термическое сопротивление теплопередачи для неоребренной поверхности определяется по формуле

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{200} + \frac{0,008}{32} + \frac{1}{20} = 0,1075 \text{ (град} \cdot \text{ м}^2\text{)/ Вт.} \quad (4.1)$$

Полное термическое сопротивление ребренной поверхности

$$\frac{1}{k'} = 0,1 \cdot \frac{1}{k} = 0,01075 \text{ (град} \cdot \text{ м}^2\text{)/ Вт.} \quad (4.2)$$

Если оребруется холодная поверхность, то коэффициент оребления F_2/F_1 может быть найден из уравнения

$$\frac{1}{k'} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{1}{\alpha_2}. \quad (4.3)$$

Тогда

$$0,01075 = \frac{1}{200} + \frac{0,008}{32} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{1}{10};$$

$$\frac{F_2}{F_1} = 18.$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Во сколько раз увеличится отдаваемый тепловой поток, если на поверхности площадью 800×800 мм разместить 24 ребра прямоугольного сечения высотой 35 мм, толщиной 5 мм. Материал – латунь, температура окружающей среды 10°C , температура поверхности у основания ребра 70°C . Принять коэффициент теплоотдачи от гладкой и ребристой поверхностей $8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Задача 3. Воздух в холодильной камере отдает теплоту охлаждающему устройству из горизонтальных труб с наружным диаметром 14 мм. Температура воздуха в камере минус 5°C , температура наружной поверхности трубы минус 10°C . Во сколько раз возрастет тепловой поток от воздуха к трубам, если трубы оребрить поперечными круглыми латунными ребрами с постоянной толщиной 1 мм. Диаметр ребер 38 мм, шаг 12,5 мм. Средний коэффициент теплоотдачи к ребристой поверхности трубы принять $6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

5 Практическое занятие № 5. Нестационарная теплопроводность

Общие сведения

Нестационарная теплопроводность характеризуется изменением температурного поля тела во времени и связана с изменением энтальпии тела при его нагреве или охлаждении.

Задача 1. Резиновая пластина толщиной $2\delta = 20$ мм, нагретая до температуры $t_0 = 140$ °С, помещена в воздушную среду с температурой $t_{жс} = 15$ °С. Определить температуры в середине и на поверхности пластины через $\tau = 20$ мин после начала охлаждения. Коэффициент теплопроводности резины $\lambda = 0,175$ Вт/(м · град). Коэффициент температуропроводности резины $a = 0,833 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Коэффициент теплоотдачи от поверхности пластины к окружающему воздуху $\alpha = 65$ Вт/(м² · °С).

Решение

В рассматриваемом случае

$$B_i = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda} = \frac{65 \cdot 0,01}{0,175} = 3,73; \quad (5.1)$$

$$F_o = \frac{\alpha \cdot \tau}{\delta^2} = \frac{0,833 \cdot 10^{-7} \cdot 1200}{0,01^2} = 1,0. \quad (5.2)$$

По этим данным по справочнику находим температуры: $\Theta_{x=0} = 0,26$; $\Theta_{x=\delta} = 0,083$.

Безразмерная температура

$$\Theta = \frac{t - t_{жс}}{t_0 - t_{жс}}. \quad (5.3)$$

Откуда

$$t_{x=0} = t_{жс} + \Theta_{x=0} \cdot (t_0 - t_{жс}) = 15 + 0,26 \cdot (140 - 15) = 47,5 \text{ °С}; \quad (5.4)$$

$$t_{x=\delta} = t_{жс} + \Theta_{x=\delta} \cdot (t_0 - t_{жс}) = 15 + 0,083 \cdot (140 - 15) = 25,4 \text{ °С}; \quad (5.5)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Стальной лист толщиной 30 мм (теплоемкость – 0,42 кДж/(кг · К), плотность – 7900 кг/м³) нагрет до 400 °С и охлаждается в воздухе с температурой 10 °С при коэффициенте теплоотдачи 20 Вт/(м² · К). Через сколько часов температура листа на поверхности будет на 11 °С отличаться от температуры воздуха? Сколько теплоты будет отдано с 1 м² листа за время охлаждения?

Задача 3. Вал диаметром 140 мм с температурой 27 °С поместили в нагреватель, где температура постоянна и равна 860 °С. Процесс нагрева длился до получения на поверхности вала температуры 520 °С. Найти время нагрева и температуру на оси вала, если теплопроводность материала вала 38 Вт/(м · К), температуропроводность $6,94 \cdot 10^{-6}$ м²/с, а коэффициент теплоотдачи 163 Вт/(м² · К).

6 Практическое занятие № 6. Конвективный теплообмен при течении жидкости по трубе

Общие сведения

Теплоотдачей называется конвективный теплообмен между твердым телом и движущейся средой (жидкостью или газом), который осуществляется совместным действием теплопроводности и конвекции при наличии температурного напора Δt между телом и средой. Вынужденное движение среды вызывается различного рода внешними возбудителями (насосами, вентиляторами и т. п.).

Поскольку процесс теплоотдачи связан с движением среды, выделяют два основных режима течения – ламинарный, при котором частицы движутся упорядоченно, слои не перемешиваются друг с другом, и турбулентный, когда частицы совершают неупорядоченные движения, в результате чего различные слои интенсивно перемешиваются. Переход от одного режима к другому определяется некоторым «критическим» значением числа Рейнольдса.

При течении среды на поверхности стенки образуется гидродинамический пограничный слой вязкой жидкости. В пределах этого слоя (по нормали к поверхности) скорость потока изменяется от нуля на поверхности до скорости невозмущенного потока на внешней границе слоя. Движение жидкости в пограничном слое может иметь ламинарный и турбулентный характер, а толщина слоя постепенно возрастает по направлению движения жидкости.

Задача 1. Для лабораторной установки требуется подавать воду по горизонтальной стеклянной трубке при $t_f = 80$ °С со скоростью $w = 0,2$ м/с. Внутренний диаметр трубки $d = 3$ мм. Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи, если изменение температуры равно $\Delta t = 5$ °С.

Решение

При определяющей температуре 80 °С значения физических параметров воды: $\lambda = 67,5 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м · град), $\nu = 0,365 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\beta = 6,32 \cdot 10^{-4}$ 1/град, $Pr = 2,21$.

Для выбора критериального уравнения определяем

$$Re_e = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0,2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{0,365 \cdot 10^{-6}} = 1640. \quad (6.1)$$

Определяем критерий G_r :

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot d^3}{\nu^2} \cdot \Delta t = \frac{9,81 \cdot 6,32 \cdot 10^{-4} \cdot (3 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 5}{(0,365 \cdot 10^{-6})^2} = 0,63 \cdot 10^4. \quad (6.2)$$

Определяем критерий

$$N_u = 0,17 \cdot R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} = 0,17 \cdot 1640^{0,33} \cdot 2,21^{0,43} \cdot (0,63 \cdot 10^4)^{0,1} = 6,7. \quad (6.3)$$

Определяем значение

$$\alpha = N_u \cdot \frac{\lambda}{d} = 6,7 \cdot \frac{0,675}{0,003} = 1510 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \quad (6.4)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. По горизонтальной трубе диаметром 20×1 мм протекает вода с температурой 85°C на входе. Средняя температура стенки 15°C . Расход воды $0,5$ кг/с. На выходе из трубы вода должна иметь температуру 25°C . Какой длины трубу следует для этого взять?

Задача 3. В трубу водоподогревателя с температурой стенки 250°C вода входит с $t_1 = 160^\circ\text{C}$ и выходит с $t_2 = 240^\circ\text{C}$. Режим течения воды турбулентный, скорость 1 м/с. Тепловая нагрузка поверхности нагрева трубы $3,7 \cdot 10^5$ Вт/м². Найти внутренний диаметр и длину трубы.

7 Практическое занятие № 7. Свободная конвекция

Общие сведения

Свободная конвекция – движение среды, возникающее в гравитационном поле вследствие неоднородного распределения плотности, вызванного в однофазной среде наличием температурного градиента. Поля скорости и температуры существенно зависят друг от друга.

Рассмотрено свободное гравитационное течение для наиболее простых форм поверхности твердого тела (вертикальная плита, горизонтальный цилиндр). Предполагается, что объем жидкости настолько велик, что свободное движение, возникающее у других тел, расположенных в этом объеме, не сказывается на рассматриваемом течении. Как и при вынужденной конвекции, свободное движение жидкости может быть как ламинарным, так и турбулентным.

Задача 1. Определить тепловые потери вертикальной трубы с внешним диаметром $d = 100$ мм и длиной $h = 8$ м, если температура наружной поверхности трубы $t_w = 180^\circ\text{C}$, а температура окружающего воздуха $t_f = 20^\circ\text{C}$.

Решение

Данная задача относится к случаю свободного движения в неограниченном пространстве, для расчета может быть использовано соответствующее критериальное уравнение. Определяющая температура

$$t_m = \frac{t_w + t_f}{2} = \frac{180 + 20}{2} = 100 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (7.1)$$

Определяем соответствующие этой температуре параметры воздуха при $t_m = 100 \text{ }^\circ\text{C}$: $\lambda = 3,21 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/ (м} \cdot \text{град)}$, $\nu = 23,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $P_r = 0,688$.

Определяем критерий G_r :

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot d^3}{\nu^2} \cdot \Delta t, \quad (7.2)$$

где $\beta = 1/373$;

Δt – разность температур, $\Delta t = 160 \text{ }^\circ\text{C}$.

Откуда

$$G_r = \frac{9,81 \cdot 0,1^3 \cdot 160}{373 \cdot (23,13 \cdot 10^{-6})^2} = 7,9 \cdot 10^{-6}.$$

Определяем произведение

$$G_r \cdot P_r = 7,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,688 = 5,43 \cdot 10^{-6}.$$

По справочнику определяем: $C = 0,54$; $n = 1/4$.

Определяем критерий

$$N_u = C \cdot (G_r \cdot P_r)^n = 0,54 \cdot (5,43 \cdot 10^{-6})^{0,25} = 26. \quad (7.3)$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = N_u \cdot \frac{\lambda}{d} = \frac{26 \cdot 3,21 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 8,4 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{град)}. \quad (7.4)$$

Тепловые потери

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_w - t_f) = 8,4 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 8 \cdot 160 = 3340 \text{ Вт}. \quad (7.5)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Горизонтальная плита с обращенной вверх теплоотдающей поверхностью имеет размеры 600×1100 мм и нагрета до 80°C . Вдали от плиты воздух имеет температуру 30°C . Найти тепловой поток от плиты к окружающему воздуху.

Задача 3. В большом баке с водой охлаждается вертикальная пластина шириной 3 м и высотой 2 м; ее температура 90°C . Средняя температура воды 40°C . Найти передаваемую воде теплоту.

8 Практическое занятие № 8. Теплообмен излучением в прозрачной среде

Общие сведения

Теплообмен излучением – передача теплоты, связанная с превращением внутренней энергии тела в энергию электромагнитных волн (или фотонов) и последующим превращением последней во внутреннюю энергию других тел.

В инженерных расчетах теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой, проводится в предположении о том, что излучающие поверхности – серые и их излучение – диффузное с постоянной плотностью на изотермических участках поверхности.

Серым телом называется тело, имеющее непрерывный спектр излучения, полностью подобный спектру абсолютно черного тела при той же температуре, его спектральный коэффициент теплового излучения постоянен во всем диапазоне длин волн от нуля до бесконечности и не зависит от температуры. Диффузное излучение характеризуется интенсивностью, не зависящей от направления.

При расчетах теплового излучения серых тел применяется понятие эффективного излучения, оно представляет собой совокупность собственного E излучения тела и отраженного $E_{отр}$ излучения.

Задача 1. Определить величину собственного излучения полированной алюминиевой поверхности при температуре $t_w = 530^\circ\text{C}$.

Решение

Величина собственного излучения определяется по уравнению

$$E = \varepsilon \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_w}{100} \right)^4, \quad (8.1)$$

где $\varepsilon = 0,054$.

Откуда

$$E = 0,054 \cdot 5,7 \cdot \left(\frac{530 + 273}{100} \right)^4 = 1280 \text{ Вт/м}^2.$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Определить тепловой поток, излучаемый стальной трубой; окисленной поверхностью, имеющей наружный диаметр 70 мм и длину 10 м. Температура поверхности трубы 230 °С. Труба расположена в помещении на большом удалении от стен, температура которых 20 °С.

Задача 3. Экран из окисленного никеля расположен между двумя стальными листами с шероховатой поверхностью. Температура листов – 420 и 120 °С соответственно. Найти температуру экрана и плотность теплового потока излучением. Какой станет плотность теплового потока излучением, если экран будет сделан из хрома?

Задача 4. Температура диска из хрома 500 °С, а из полированной стали 200 °С. Диски имеют одинаковый диаметр, равный 200 мм, и расположены параллельно с центрами на общей нормали на расстоянии 50 мм друг от друга.

Найти:

- а) средний угловой коэффициент лучеиспускания;
- б) лучистый тепловой поток между дисками.

Определить те же величины, если расстояние между дисками будет 200 мм.

Список литературы

1 **Кудинов, А. А.** Тепломассообмен: учебное пособие / А. А. Кудинов. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 375 с.

2 **Резников, А. Н.** Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – Москва: Машиностроение, 1990. – 288 с.

3 **Резников, А. И.** Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. И. Резников. – Москва: Машиностроение, 1981. – 279 с.

4 **Краснощеков, Е. А.** Задачник по теплопередаче: учебное пособие для вузов / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. – Москва: Энергия, 1980. – 288 с.

5 **Авчухов, В. В.** Задачник по процессам тепломассообмена: учебное пособие для вузов / В. В. Авчухов, Б. Я. Паюсте. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.

6 **Михайлова, М. М.** Сборник задач и примеров расчета по теплопередаче / М. М. Михайлова. – Москва: ВИНТИ, 1963. – 127 с.