

Министерство образования и науки
Республики Казахстан

Восточно-Казахстанский технический
университет им.Д.Серикбаева

ОП "Транспорт, транспортная техника и
технологии"

Семёнов С.В.

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Учебно-методическое пособие
по решению задач

Усть-Каменогорск, 2020

УДК621.1

Теплофизика и теплотехника: учебно-методическое пособие по решению задач

Приведены варианты задач по теплотехнике, примеры их решения, справочный материал в международной системе СИ.

ВВЕДЕНИЕ

Существующие в настоящее время учебники и учебные пособия по теплотехнике содержат в основном теоретический и описательный материал и слабо способствуют привитию практических навыков выполнения расчетов, развитию самостоятельной работы студентов. Издание соответствует рабочей программе курса "Теплофизика и теплотехника" для студентов образовательной программы – "Транспорт, транспортная техника и технологии".

Пособие содержит основные расчетные формулы и подробные решения типовых задач курса "Теплотехника" и включает задачи и примеры по разделам: смеси идеальных газов, состав топлива и объемы продуктов сгорания, свободная конвекция, двигатели внутреннего сгорания, компрессоры. Приведен необходимый для решения задач справочный материал в международной системе единиц (СИ). Все расчеты, связанные с решением задач, студентами должны быть произведены в системе СИ.

При решении задач следует принять следующую точность расчета величин: величины, имеющие большие численные значения, ограничиваются одним знаком после запятой (например, 273,1), средние – двумя знаками после запятой (например, 2,31 м/с), малые, меньше нуля, – тремя значащими цифрами (например, 0,00332 м³/кг).

Задача № 2

Для отопления гаража используют трубу, по которой протекает горячая вода. Рассчитать конвективный коэффициент теплоотдачи и конвективный тепловой поток от трубы к воздуху в гараже, если наружный диаметр и длина трубы соответственно равны d_n и l . Температура поверхности трубы t_c , при этом температура воздуха в гараже должна составлять t_b . Данные для расчета принять по табл. 2.1. Теплофизические свойства воздуха определить по табл. 2.2.

Таблица 2.1

Данные к задаче № 2

Вариант	d_n , м	l , м	t_c , °C	t_b , °C
1	0,10	10	70	15
2	0,15	9	75	16
3	0,20	8	80	17
4	0,15	7	85	18
5	0,10	6	90	19
6	0,12	7	85	20
7	0,14	8	80	19
8	0,16	9	75	18
9	0,18	10	70	17
10	0,20	9	75	16
11	0,18	8	80	15
12	0,16	7	85	14
13	0,14	6	90	15
14	0,12	7	85	16
15	0,10	8	80	17
16	0,12	9	75	18
17	0,14	10	70	19
18	0,16	9	75	20
19	0,18	8	80	21
20	0,20	7	85	22

Таблица 2.2

Теплофизические свойства воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$c_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\lambda \cdot 10^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$a \cdot 10^{-6}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$\mu \cdot 10^{-6}, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^{-6}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	17,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,2	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	26,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	20,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687

Пример решения задачи № 2

Исходные данные:

$d_n = 0,20$ м; $l = 5$ м; $t_c = 92$ °С; $t_B = 16$ °С.

Задание: определить конвективный тепловой поток от трубы к воздуху в гараже.

Решение

Тепловой поток на наружной поверхности трубы Q (Вт), передаваемый к воздуху, определяется как

$$Q = \alpha(t_c - t_B)F, \quad (2.1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи при свободном движении воздуха около трубы, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; F – площадь наружной поверхности трубы, м^2 .

Критериальная зависимость для вычисления среднего коэффициента теплоотдачи при свободном движении воздуха имеет вид

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n, \quad (2.2)$$

где постоянные C и n зависят от режима свободного движения воздуха и условий обтекания поверхности. Они являются функциями $Gr \cdot Pr$ и для горизонтальной трубы определяются по табл. 2.3 .

Таблица 2.3

Значения постоянных C и n

$Gr \cdot Pr$	C	n	Режим движения
$1 \cdot 10^3 \dots 1 \cdot 10^9$	0,5	0,25	Ламинарный
$\geq 6 \cdot 10^{10}$	0,15	0,333	Турбулентный

Nu , Gr , Pr – критерии подобия Нуссельта, Грасгофа, Прандтля:

$$Nu = \frac{(\alpha \cdot d_n)}{\lambda}; \quad Gr = \frac{g \cdot \beta(t_c - t_B) \cdot d_n^3}{\nu^2},$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м²/с; β – коэффициент объемного расширения воздуха, $\beta = \frac{1}{(t_B + 273)} \cdot \frac{1}{\text{К}}$; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с.

В формуле (2.2) все физические свойства, входящие в критерии подобия, выбираются из табл. 2.2 при определяющей температуре воздуха t_b вдали от поверхности теплообмена, а в качестве определяющего размера – наружный диаметр трубы d_n .

В рассматриваемом случае определяющая температура $t_b = 16^\circ\text{C}$.

При этой температуре для воздуха:

$$\lambda = 0,0256 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad \nu = 14,7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \quad Pr = 0,704;$$

$$\beta = \frac{1}{(t_b + 273)} = \frac{1}{(16 + 273)} = 3,46 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{К}}.$$

Вычисляем значение комплекса:

$$\begin{aligned} Gr \cdot Pr &= \frac{g \cdot \beta (t_c - t_b) \cdot d^3}{\nu^2} \cdot Pr = \\ &= \frac{9,81 \cdot 3,46 \cdot 10^{-3} \cdot (92 - 16) \cdot 0,2^3}{(14,7 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,704 = 6,723 \cdot 10^7. \end{aligned}$$

Из табл. 2.3 находим, что при вычисленном значении комплекса постоянные в расчетном уравнении (2.2) равны: $C = 0,5$ и $n = 0,25$. Тогда значение критерия Нуссельта составит

$$Nu = 0,5 \cdot (6,723 \cdot 10^7)^{0,25} = 45,27.$$

Откуда

$$\alpha = Nu \cdot \left(\frac{\lambda}{d} \right) = 45,27 \cdot \left(\frac{0,0256}{0,2} \right) = 5,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Площадь наружной поверхности трубы

$$F = \pi d_n l = 3,14 \cdot 0,2 \cdot 5 = 3,14 \text{ м}^2.$$

Тогда тепловой поток, отдаваемый от наружной поверхности трубы к воздуху по формуле (2.1), будет равен

$$Q = 5,8 \cdot (92 - 16) \cdot 3,14 = 1384,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Ответ: $Q = 1384,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$

Список литературы

1. *Панкратов Г.П.* Сборник задач по теплотехнике: Учебное пособие . – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. Шк., 1995. – 238 с.: ил.
2. *Безгрешков А.Н.* и др. Расчет паровых котлов в примерах и задачах: Учеб. пособие для вузов/ *А.Н. Безгрешков, Ю.М. Липов, Б.М. Шлейфер*; Под общ. ред. *Ю.М. Липова*. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.: ил.
3. *Краснощеков Е.А.* и др. Задачник по теплопередаче. – Изд. 2-е, перераб. и доп./ *Е. А. Краснощеков, А.С. Сукомел.* – М.: Энергия, 1969. – 264 с. ил.

Содержание

Введение.....	3
Задача № 1	4
Задача № 2	8
Задача № 3	12
Задача № 4	17
Задача № 5	19
Список литературы.....	21