

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 м<sup>3</sup>/кг).

### Задача № 3

Задан состав твердого топлива на рабочую массу в %. Определить теоретически необходимое количество воздуха для горения, а также по формуле Д.И. Менделеева – низшую и высшую теплоту сгорания топлива, объемы и состав продуктов сгорания при  $\alpha_v$ , а также энтальпию продуктов сгорания при температуре  $\vartheta$ . Данные для расчета принять по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Данные к задаче № 3

Вариант	$W^p$	$A^p$	$S^p$	$C^p$	$H^p$	$N^p$	$O^p$	$\alpha_v$	$\vartheta, ^\circ\text{C}$
1	13,0	21,8	3,0	49,3	3,6	1,0	8,3	1,1	120
2	14,0	25,8	3,9	44,8	3,4	1,0	7,1	1,2	130
3	8,0	23,0	3,2	55,2	3,8	1,0	5,8	1,3	140
4	11,0	26,7	3,1	49,2	3,4	1,0	5,6	1,4	150
5	9,0	34,6	3,2	44,0	3,1	0,8	5,3	1,3	160
6	12,0	13,2	0,3	58,7	4,2	1,9	9,7	1,2	170
7	8,5	11,0	0,5	66,0	4,7	1,8	7,5	1,1	180
8	9,0	18,2	0,3	61,5	3,7	1,5	5,8	1,2	190
9	6,5	16,8	0,4	68,6	3,1	1,5	3,1	1,3	200
10	7,0	30,7	0,7	53,6	3,0	1,6	3,4	1,4	210
11	14,0	9,5	0,5	59,5	4,0	1,5	11,0	1,5	220
12	10,0	13,5	0,5	67,7	3,6	1,6	5,3	1,6	230
13	12,0	18,9	0,4	59,1	3,4	1,7	4,5	1,5	240
14	32,0	25,2	2,7	28,7	2,2	0,6	8,6	1,4	250
15	5,5	23,6	0,8	59,6	3,8	1,3	5,4	1,3	260
16	10,0	19,8	2,6	55,5	3,7	0,9	7,5	1,2	270
17	6,0	31,0	6,1	48,5	3,6	0,8	4,0	1,1	280
18	18,0	29,5	1,0	37,3	2,8	0,9	10,5	1,2	290
19	8,0	23,9	0,4	60,3	2,5	0,9	4,0	1,3	300
20	8,0	9,2	0,6	67,9	4,7	0,8	8,8	1,4	310

Таблица 3.2

## Энтальпии газов, воздуха и золы

θ, °С	(сθ) <sub>CO<sub>2</sub></sub>	(сθ) <sub>N<sub>2</sub></sub>	(сθ) <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	(сθ) <sub>В</sub>	(сθ) <sub>ЗЛ</sub>
	кДж / м <sup>3</sup>				кДж / кг
100	171,1	130,1	150,5	132,7	80,8
200	360,0	261,0	304,0	267,0	169,1
300	563	394	463	403	264
400	776	529	626	542	360
500	999	667	795	685	458
600	1231	808	969	830	560
700	1469	952	1149	979	662
800	1712	1098	1334	1129	767
900	1961	1247	1526	1283	857
1000	2210	1398	1723	1483	984
1100	2458	1551	1925	1595	1097
1200	2717	1705	2132	1754	1206
1300	2977	1853	2344	1914	1361
1400	3239	2009	2559	2076	1583
1500	3503	2166	2779	2239	1759
1600	3769	2324	3002	2403	1876
1700	4036	2484	3229	2567	2064
1800	4305	2644	3458	2732	2186
1900	4574	2804	3690	2899	2387
2000	4844	2965	3926	3066	2512
2100	5115	3127	4163	3234	-
2200	5386	3289	4402	3402	-
2300	5658	3452	4643	3571	-
2400	5930	3615	4888	3740	-
2500	6203	3778	5132	3910	-

### Пример решение задачи № 3

**Исходные данные:**

$$W^P = 13,2; \quad A^P = 22,8; \quad S^P = 3,1; \quad C^P = 50,0; \quad H^P = 3,8; \quad N^P = 1,2; \\ O^P = 5,9; \quad \alpha_s = 1,2; \quad \vartheta = 200 \text{ }^\circ\text{C}.$$

#### Решение

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива вычисляется по формуле

$$V^0 = 0,089C^P + 0,226H^P + 0,033(S^P - O^P) = \\ = 0,089 \cdot 50,0 + 0,226 \cdot 3,8 + 0,033(3,1 - 5,9) = 5,2 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Действительное необходимое количество воздуха

$$V_d = \alpha_B V^0 = 1,2 \cdot 5,2 = 6,2 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Низшая теплота сгорания 1 кг топлива по формуле Д.И. Менделеева

$$Q_H^P = 338C^P + 1025H^P - 108,5(O^P - S^P) - 25 \cdot W^P = \\ = 338 \cdot 50,0 + 1025 \cdot 3,8 - 108,5 \cdot (5,9 - 3,1) - 25 \cdot 13,2 = 20161 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Высшая теплота сгорания

$$Q_B^P = Q_H^P + 225H^P + 25W^P = 20161 + 225 \cdot 3,8 + 25 \cdot 13,2 = 21346 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Теоретические объемы продуктов полного сгорания твердых топлив при  $\alpha_B=1$  определяются по формулам:

-объем трехатомных газов

$$V_{\text{RO}_2} = 0,0187(C^P + 0,375S^P) = 0,0187(50,0 + 0,375 \cdot 3,1) = 0,96 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

-объем азота

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^P}{100} = 0,79 \cdot 5,2 + 0,8 \frac{1,2}{100} = 4,12 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

-объем сухих газов

$$V_{\text{СГ}}^0 = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 = 0,96 + 4,12 = 5,08 \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}};$$

-объем водяных паров

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}}^0 &= 0,111H^{\text{P}} + 0,0124W^{\text{P}} + 0,0161V^0 = \\ &= 0,111 \cdot 3,8 + 0,0124 \cdot 13,2 + 0,0161 \cdot 5,2 = 0,67 \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}}. \end{aligned}$$

Полный объем газообразных продуктов сгорания 1 кг топлива при  $\alpha_{\text{в}} = 1$

$$V_{\Gamma}^0 = V_{\text{СГ}}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 5,08 + 0,67 = 5,75 \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}}.$$

Объем продуктов сгорания при  $\alpha_{\text{в}} = 1,2$  определяется по формулам:

-объем сухих газов

$$V_{\text{СГ}} = V_{\text{СГ}}^0 + (\alpha_{\text{в}} - 1)V^0 = 5,08 + (1,2 - 1) \cdot 5,2 = 6,12 \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}};$$

-объем водяных паров

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}} &= V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161(\alpha_{\text{в}} - 1) \cdot V^0 = 0,67 + 0,0161(1,2 - 1) \cdot 5,2 = \\ &= 0,69 \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}}. \end{aligned}$$

Полный объем продуктов сгорания

$$V_{\Gamma} = V_{\text{СГ}} + V_{\text{H}_2\text{O}} = 6,12 + 0,69 = 6,81 \frac{\text{М}^3}{\text{КГ}}.$$

Энтальпия продуктов сгорания,  $\frac{\text{кДж}}{\text{КГ}}$ , при  $\alpha_{\text{в}} = 1$  и температуре газов  $\vartheta = 200$  °С находится по формуле

$$H_{\Gamma}^0 = V_{\text{CO}_2} (c\vartheta)_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (3.1)$$

где  $(c\vartheta)_{\text{CO}_2}$ ,  $(c\vartheta)_{\text{N}_2}$ ,  $(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$  – энтальпия соответственно  $1\text{м}^3$  углекислого газа, азота и водяных паров (находится по табл. 3.2 при  $\vartheta = 200$  °С):

$$(c\vartheta)_{\text{CO}_2} = 357 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3};$$

$$(c\vartheta)_{\text{N}_2} = 260 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3};$$

$$(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}} = 304 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}.$$

Подставляя найденные значения энтальпии в уравнение (3.1), получаем

$$H_{\Gamma}^0 = 0,96 \cdot 357 + 4,12 \cdot 260 + 0,67 \cdot 304 = 1617,6 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Энтальпия воздуха,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ,

$$H_{\text{B}}^0 = V^0 (c\vartheta)_{\text{B}},$$

где  $(c\vartheta)_{\text{B}}$  – энтальпия воздуха при  $\vartheta = 200 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. табл. 3.2).

$$H_{\text{B}}^0 = 5,2 \cdot 266 = 1383,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Энтальпия продуктов сгорания при  $\alpha_{\text{B}} = 1,2$  и  $\vartheta = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

$$H_{\Gamma} = H_{\Gamma}^0 + (\alpha_{\text{B}} - 1)H_{\text{B}}^0 = 1617,6 + (1,2 - 1)1383,2 = 1894,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

**Ответ:**  $V^0 = 5,2 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ ;  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 20161 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;  $Q_{\text{B}}^{\text{P}} = 21346 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ;

$$V_{\text{RO}_2} = 0,96 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}; V_{\text{N}_2}^0 = 4,12 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}; V_{\text{CF}}^0 = 5,08 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}; V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,67 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

$$V_{\text{CF}} = 6,12 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}; V_{\text{CF}} = 6,12 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}; V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,69 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}; H_{\Gamma}^0 = 1617,6 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$H_{\text{B}}^0 = 1383,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; H_{\Gamma} = 1894,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$



## 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