

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
**Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего**  
**Профессионального Образования**  
**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**  
**(МИИТ)**

Кафедра: «Теплоэнергетика и водоснабжение  
на железнодорожном транспорте»

## **ТРАНСПОРТНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

Задание на контрольную работу №1 с методическими указаниями  
по дисциплине для студентов-бакалавров 3 курса, сокращённой формы обучения,  
направления: «Технология транспортных процессов»

профиля: «Организация перевозок и управление в единой транспортной системе»

Москва, 2013 г.

## ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Студенты выполняют 1 контрольную работу. Темой контрольной работы является: «Термодинамика и теплопередача».

Контрольная работа включает три вопроса и две задачи. Студент выбирает контрольные вопросы и задачи по таблице вариантов – Таблица 1 соответственно последней цифре своего учебного шифра.

**Таблица 1 - Варианты заданий**

Задания на контрольную работу	Последняя цифра учебного шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номера контрольных вопросов	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
Номера контрольных задач	4	3	2	1	6	5	4	3	2	1
	1	2	4	3	2	1	5	4	5	6

### ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Выполнению контрольных работ должно предшествовать тщательное изучение соответствующего раздела курса «Транспортная энергетика». При их выполнении студент должен сначала письменно ответить на контрольные вопросы, а затем решить соответствующие задачи (контрольные вопросы и условия задач должны быть переписаны в пояснительную записку).

При подготовке к экзаменам студенту рекомендуется проработать все контрольные вопросы и задачи, предложенные в заданиях.

Ответы на контрольные вопросы должны быть четкими. Их необходимо сопровождать, формулами, графиками, схемами. При решении задач студент указывает, по какой формуле и в каких единицах измерения определяются величины, откуда взяты представленные в формулу значения (если они не содержатся в условиях задачи).

При использовании таблиц, программ, эмпирических формул и других справочных материалов надо сделать ссылку на литературный источник.

В приложениях к заданиям приведены справочные таблицы средних изобарных теплоемкостей некоторых газов, термодинамических свойств воды и водяного пара в состоянии насыщения, физических свойств воздуха и воды на линии насыщения.

Вычисления всех величин проводятся в развернутом виде. Если подставляемая в формулу величина определяется по какой либо расчетной зависимости, это промежуточное вычисление подробно записывается. Обозначения величин и терминология в пояснительной записке должны соответствовать принятым в учебниках.

Решения задач нужно иллюстрировать схемами и графиками, тщательно выполненными и подклеенными к пояснительной записке в соответствующих местах.

Пояснительная записка должна иметь поля для заметок рецензента.

При подготовке к экзаменам студенту рекомендуется проработать все контрольные вопросы и задачи, приведенные в заданиях.

#### Контрольные вопросы

1. Способы передачи тепла.

2. Основные расчетные уравнения теплопроводности, теплоотдачи, излучения.
  3. Теплообмен при фазовых превращениях.
  4. Теплопередача, способы повышения и понижения теплопередачи.
  5. Понятие теплообмена и тепломассообмена.
  6. Классификация теплообменных аппаратов.
  7. Рекуперативные теплообменные аппараты. Конструктивные особенности, применение.
  8. Регенеративные теплообменные аппараты. Конструктивные особенности, применение.
  9. Понятие насадки, требования к ним.
  10. Смесительные теплообменные аппараты. Конструктивные особенности, применение.
  11. Классификация топлив.
  12. Элементарный состав топлив.
  13. Характеристика твердых топлив.
  14. Характеристика жидких топлив.
  15. Характеристика газообразных топлив.
  16. Теория горения топлива.
  17. Расход воздуха на горение топлива.
  18. Состав и объемы продуктов горения.
  19. Энтальпия продуктов сгорания.
  20. Безопасность при хранении и использовании топлив.
  21. Паровые котлы. Особенности конструкции.
  22. Водяные котлы. Особенности конструкции.
  23. Тепловая схема котельной.
  24. Вагонный котел.
  26. КПД котлов и способы его повышения.
  27. Общая схема устройства печи. Классификация промышленных печей.
  28. Характеристика печей предприятий ж.д. транспорта. Тепловой баланс печи.
  29. Установки для сушки песка. Особенности конструкции. Барабанная сушилка для песка. Пневматическая труба-сушилка для песка. Сушилка для песка с кипящим слоем.
  30. Установки для подогрева нефтепродуктов в железнодорожных цистернах: непосредственный разогрев паром, змеевиковый подогреватель, циркуляционный разогрев мазута.
- 

### Задачи

1. Определить площадь поверхности нагрева водо-водяного теплообменного аппарата для прямо- и противоточной схем движения, если  $G_1 = 12$  кг/с;  
 $G_2 = 7$  кг/с;  $t_1' = 100^\circ\text{C}$ ,  $t_1'' = 20^\circ\text{C}$ ;  $k = 2300$  Вт/( $\text{m}^2$  К), потерями теплоты в окружающую среду пренебречь. \*
2. В паровом теплообменнике происходит конденсация сухого насыщенного водяного пара при  $p = 0,2$  МПа. Температура воды  $t_2' = 30^\circ\text{C}$ , а  $G_2 = 1,2$  кг/с. Площадь поверхности теплообмена  $F = 1,94$   $\text{m}^2$ , а  $k = 2100$  Вт/( $\text{m}^2$  К).  
 Найти  $t_2''$  и  $G_1$ . \*
3. В противоточном теплообменном аппарате дымовые газы ( $G_1 = 1,19$  кг/с) охлаждаются от  $t_1' = 220^\circ\text{C}$  до  $t_1'' = 170^\circ\text{C}$ . Отдаваемая дымовыми газами теплота расходуется на нагревание воды ( $G_2 = 0,159$  кг/с и  $p = 0,5$  МПа,  
 $t_2' = 40^\circ\text{C}$ ). Рассчитать температуру воды на выходе теплообменного аппарата и площадь поверхности нагрева при  $k = 95$  Вт/( $\text{m}^2$  К). \*
4. Изоляция (обмуровка) парового котла.

Стены топки парового котла выполнены из слоя огнеупорного кирпича толщиной  $\delta_1 = 250$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1 = 0,28 + 0,233 \cdot 10^{-3}t$ , Вт/м<sup>2</sup> К, и слоя диатомитового кирпича с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2 = 0,113 + 0,233 \cdot 10^{-3}t$ , Вт/м<sup>2</sup> К. Температура газов в топке

$$t_{ж1} = 1300^\circ\text{C}, \alpha_1 = 30 \text{ Вт/м}^2 \text{ К. Температура воздуха в котельной } t_{ж2} = 30^\circ\text{C}, \\ \alpha_2 = 10 \text{ Вт/м}^2 \text{ К.}$$

Какой должна быть толщина диатомитового слоя, чтобы потери в окружающую среду не превышали  $750 \text{ Вт/м}^2$ , и чему равна температура в плоскости соприкосновения слоев? \*\*

5. Сушильная установка.

Определить интенсивность испарения воды с поверхности материала в рабочей камере сушильной установки, если параметры воздуха в ней

$r = 750$  мм рт.ст.,  $t = 85$  °С и относительная влажность  $\phi = 10\%$ . Коэффициент теплоотдачи на поверхности материала  $12 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ .\*\*\*

6. Промышленная печь.

Определить время симметричного нагрева заготовки из углеродистой стали с размерами  $150 \times 150 \times 1000$  мм от температуры  $500^\circ\text{C}$  до  $1000^\circ\text{C}$ , если температура в печи  $1250^\circ\text{C}$ .

Принять приведенную излучательную способность  $\sigma = 3,5 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$

\* Задачник по тепломассообмену, Ф.Ф.Цветков, Р.В.Керимов, В.И.Величко.

\*\* Примеры и задачи по тепломассообмену, В.С.Логинов, А.В.Крайнов и др.

\*\*\* Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники, В.Г.Ерохин, М.Г.Маханько.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Основные формулы к задачам 1,2,3

1. Уравнение теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2 + Q_{\text{пот}},$$

где  $Q_{\text{пот}}$  - тепловой поток в окружающую среду (потери тепла), а

$$Q_1 = G_1(h_1' - h_1''),$$

$$Q_2 = G_2(h_2' - h_2''),$$

индексы 1 и 2 относятся к горячей и холодной жидкости, верхний индекс ' - к условиям на входе, '' - на выходе.

При  $c_{p1} = \text{const}$  и  $c_{p2} = \text{const}$

$$Q_1 = G_1 c_{p1} (t_1' - t_1''),$$

$$Q_2 = G_2 c_{p2} (t_2' - t_2''), \text{ или}$$

$$Q_1 = G_1 c_{p1} (t_1' - t_1''),$$

$$Q_2 = G_2 c_{p2} (t_2' - t_2''),$$

где  $c_{p1}$  и  $c_{p2}$  - среднеинтегральные значения в заданных интервалах температур.

2. Уравнение теплопередачи

$$Q = kF\Delta t, \text{ кДж/с,}$$

где  $k$  - коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup> К,

$\Delta t$  - средний температурный напор между теплоносителями, °С,

$F$  - площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}$$

где  $\Delta t_{\delta}$  - температурный напор (разность температур обоих теплоносителей), °С, на том конце поверхности теплообмена, где он больше,

$\Delta t_{\text{м}}$  - температурный напор, °С, на другом конце поверхности теплообмена.

#### ***К задаче №4***

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

$k$  - коэффициент теплопередачи стенки,

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты теплоотдачи с внутренней и наружной стороны стенки,

$\delta_1$  и  $\delta_2$  - толщина слоев,

$\lambda_1$  и  $\lambda_2$  - коэффициент теплопроводности слоев.

#### ***К задаче №5***

Влажность материала определяется в долях или процентах к общей массе  $\omega_0$  или к абсолютно сухой массе  $\omega_c$  :

$$\omega_0 = \frac{W}{m_{\text{сух}} + W} 100\%$$

$$\omega_c = \frac{W}{m_{\text{сух}}} 100\%$$

где  $W$  - содержание влаги в материале, кг,

$m_{\text{сух}}$  - масса абсолютно сухого материала, кг,

Пересчет влажности

$$\omega_0 = \frac{\omega_c}{100 + \omega_c} 100\%$$

$$\omega_c = \frac{\omega_0}{100 + \omega_0} 100\%$$

Интенсивность испарения воды со свободной поверхности

$$J_{\text{п}} = \frac{W}{F\tau} = \frac{\alpha}{r} (t_{\text{с.т.}} - t_{\text{м.т.}})$$

где  $F$  - поверхность, м<sup>2</sup>,

$\tau$  - время, с,

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup> К),

$r$  - теплота парообразования, Дж/кг,

$t_{\text{с.т.}}$ ,  $t_{\text{м.т.}}$  - температура сухого и мокрого термометров.

#### ***К задаче №6***

Лучистый теплообмен определяется формулой

$$q_{\text{л}} = \sigma \left[ \left( \frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{м}}}{100} \right)^4 \right],$$

где  $T_{\text{п}}$  и  $T_{\text{м}}$  - температура в рабочей камере печи и нагреваемого материала,  
 $\sigma$  - приведенная излучательная способность материала,  $\sigma = 3 - 4,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$ ,

Коэффициент теплоотдачи излучением

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{q_{\text{л}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{м}}},$$

суммарный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}},$$

суммарный удельный тепловой поток

$$q_{\Sigma} = (\alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}) (t_{\text{п}} + t_{\text{м}}) = \alpha_{\Sigma} (t_{\text{п}} + t_{\text{м}}).$$

Время нагрева тонких листов или прутков металла

$$\tau = \frac{M_{\text{м}} c_{\text{м}}}{\alpha_{\Sigma} F} \times 2,31 \lg \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{м}}^1}{t_{\text{п}} - t_{\text{м}}^{11}} \quad ?$$

где  $M_{\text{м}}$  - масса нагреваемого материала, кг,

$F$  - поверхность материала,  $\text{м}^2$ ,

$c_{\text{м}}$  - средняя теплоемкость материала в процессе нагрева,  $\text{кДж}/(\text{кг К})$ ,

$t_{\text{м}}^1$  и  $t_{\text{м}}^{11}$  - начальная и конечная температуры нагреваемого материала,  $^{\circ}\text{С}$ .

## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Таблица 1 - Средние объемные теплоемкости газов при  $P=\text{const}$  в интервале температур  $0 \div t, ^\circ\text{C}$ , Дж/(м<sup>3</sup>К).**

$t, ^\circ\text{C}$	$\text{CO}_2$	$\text{N}_2$	$\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	Воздух
0	1,600	1,299	1,306	1,494	1,297
100	1,700	1,300	1,318	1,505	1,300
200	1,737	1,304	1,335	1,522	1,307
300	1,863	1,311	1,356	1,542	1,317
400	1,930	1,321	1,387	1,565	1,329
500	1,989	1,332	1,398	1,590	1,343
600	2,041	1,345	1,417	1,615	1,456
700	2,088	1,359	1,434	1,641	1,371
800	2,131	1,372	1,450	1,668	1,384
900	2,169	1,385	1,465	1,696	1,398
1000	2,204	1,397	1,478	1,723	1,410
1100	2,235	1,409	1,489	1,750	1,421
1200	2,264	1,420	1,501	1,777	1,433
1300	2,290	1,431	1,511	1,803	1,443
1400	2,314	1,441	1,520	1,828	1,453
1500	2,335	1,450	1,529	1,853	1,462
1600	2,356	1,459	1,538	1,876	1,471
1700	2,374	1,467	1,546	1,900	1,479
1800	2,392	1,475	1,554	1,921	1,487
1900	2,407	1,482	1,562	1,942	1,494
2000	2,422	1,489	1,569	1,963	1,501

**Таблица 2 - Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения  
(аргумент-давление)**

<b>p, МПа</b>	<b>t, °С</b>	<b>v', м<sup>3</sup>/кг</b>	<b>v'', м<sup>3</sup>/кг</b>	<b>i', кДж/кг</b>	<b>i'', кДж/кг</b>	<b>г, кДж/кг</b>	<b>S', кДж/(кг·К)</b>	<b>S'', кДж/(кг·К)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
0,003	24,1	0,00100	45,67	101,0	2545	2444	0,354	8,578
0,004	28,98	0,00100	34,80	121,4	2554	2433	0,422	8,475
0,005	32,90	0,00101	28,19	137,8	2561	2423	0,476	8,395
0,10	99,63	0,00104	1,694	417,5	2676	2258	1,303	7,361
0,12	104,8	0,00105	1,429	439,4	2684	2244	1,361	7,299
0,14	109,3	0,00105	1,237	458,4	2691	2232	1,411	7,248
0,16	113,3	0,00105	1,092	475,4	2697	2221	1,455	7,203
0,18	116,9	0,00106	0,978	490,7	2702	2211	1,494	7,164
0,20	120,3	0,00106	0,886	504,7	2707	2202	1,530	7,128
0,40	143,6	0,00108	0,462	604,7	2738	2143	1,776	6,897
0,60	158,8	0,00110	0,315	670,4	2756	2086	2,931	6,760
0,80	170,4	0,00112	0,240	720,9	2768	2047	2,046	6,662
1,0	179,9	0,00113	0,194	762,6	2777	2014	2,138	6,585
1,2	187,9	0,00114	0,163	798,4	2783	1985	2,216	6,521
1,4	195,0	0,00115	0,141	830,1	2788	1958	2,284	6,466
1,6	201,4	0,00116	0,1237	858,6	2792	1934	2,344	6,419
1,8	207,1	0,00117	0,1103	884,6	2795	1910	2,398	6,376
2,0	212,4	0,00118	0,0995	908,6	2797	1889	2,446	6,337
2,2	217,2	0,00119	0,0906	930,9	2799	1868	2,492	6,302
2,4	221,8	0,00119	0,0832	951,9	2800	1848	2,533	6,269
2,6	226,0	0,00120	0,0769	971,7	2801	1829	2,574	6,239
2,8	230,0	0,00121	0,0714	990,5	2802	1811	2,611	6,210
3,0	233,8	0,00122	0,0666	1008,4	2802	1793	2,646	6,183
3,5	242,5	0,00123	0,0570	1049,8	2801	1751	2,725	6,122
4,0	250,3	0,00125	0,0494	1087,5	2799	1712	2,797	6,067
4,5	257,4	0,00127	0,0440	1122,2	2796	1674	2,861	6,017
5,0	263,9	0,00129	0,0394	1154,6	2793	1638	2,924	5,971

**Таблица 3 - Физические свойства сухого воздуха при давлении 760 мм рт.ст.**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_{\text{ср,кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(мК)}$	$a \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{П}\cdot\text{с/м}^2$	$\gamma \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,61	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	27,2	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	21,1	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

**Таблица 4 - Физические свойства воды на линии насыщения**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$I, \text{кДж/кг}$	$c_p, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Н} \cdot \text{с/м}^2$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$Pr$
0	1,013	999,9	0	4,212	0,560	13,2	1788	1,789	13,5
10	1,013	999,7	42,04	4,191	0,580	13,8	1306	1,306	9,45
20	1,013	998,2	83,91	4,183	0,597	14,3	1004	1,006	7,03
30	1,013	995,7	125,7	4,174	0,612	14,7	801,5	0,805	5,45
40	1,013	992,2	167,5	4,174	0,627	15,1	653,3	0,659	4,36
50	1,013	988,1	209,3	4,174	0,640	15,5	549,4	0,556	3,59
60	1,013	983,1	251,1	4,179	0,650	15,8	469,9	0,478	3,03
70	1,013	977,8	293,0	4,187	0,662	16,1	406,1	0,415	2,58
80	1,013	971,8	335,0	4,195	0,669	16,3	355,1	0,365	2,23
90	1,013	965,3	377,0	4,203	0,676	16,5	314,9	0,326	1,97
100	1,013	958,4	419,1	4,220	0,684	16,8	282,5	0,295	1,75
120	1,98	943,1	503,7	4,250	0,686	17,1	237,4	0,252	1,47
140	3,61	926,1	589,1	4,287	0,685	17,2	201,4	0,217	1,26
160	6,18	907,4	657,4	4,346	0,681	17,8	173,6	0,191	1,10
180	10,03	886,9	763,3	4,417	0,672	17,2	153,0	0,173	1,03
200	15,55	863,0	852,5	4,505	0,658	17,0	136,4	0,158	0,932
220	23,20	840,3	943,7	4,614	0,640	16,5	124,6	0,148	0,898
240	33,48	813,6	1037,5	4,760	0,617	16,0	114,8	0,141	0,883
260	46,94	784,0	1135,7	4,980	0,593	15,2	105,9	0,135	0,892
280	64,19	750,7	1236,7	5,300	0,565	14,3	98,1	0,131	0,917
300	85,92	712,5	1344,9	5,760	0,532	13,0	91,2	0,128	0,986

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная

1. И.Г.Киселев, Теплотехника на подвижном составе железных дорог, изд.дом «Транспортная книга», М., 2008,
2. Теплотехника, под ред. А.П.Баскакова, изд . «ООО»Бастет», М., 2009.
3. Л.Н.Сидельковский, В.Н.Юренев, Котельные установки промышленных предприятий, Изд. «ООО»Бастет», М., 2009.

### Дополнительная

1. П.Д. Лебедев, Теплообменные, сушильные и холодильные установки, М., изд. «Энергия», 1972.
2. А.Э.Симсон, И.Д.Михайлов и др., Транспортная теплотехника, изд «Транспорт», 1988.