

Министерство образования Республики Беларусь
УО «Полоцкий государственный университет»

Э.И. ГОНЧАРОВ, В.А. ЗАФАТАЕВ

ТЕПЛОМАССОБМЕН

Методические указания
к выполнению расчётно-графической работы
для студентов специальности 70 04 02
«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»

Новополоцк
ПГУ
2010

УДК 536.24 (075.8)
ББК

Одобрено и рекомендовано к изданию
методической комиссией инженерно-строительного факультета
в качестве методических указаний (протокол № __ от _____)

Кафедра теплогаснабжения и вентиляции

Рецензенты:

зав. каф. теплогаснабжения и вентиляции Т.И. КОРОЛЁВА
к.т.н., доцент Ю.В. РАЗВАЛЯЕВ

Подготовлены в соответствии с учебным планом и программой курса
«Тепломассообмен» специальности 70 04 02 «Теплогаснабжение, вентиляция и
охрана воздушного бассейна» с использованием действующей учебной
литературы.

© Гончаров Э.И., Зафатаев В.А., 2010
© УО «Полоцкий государственный университет», 2010

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Тепломассообмен» является теоретической основой и научным фундаментом для усвоения профилирующих дисциплин («Строительная теплофизика», «Теплогенерирующие установки», «Отопление», «Теплоснабжение», «Газоснабжение», «Вентиляция», «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение») при подготовке инженера-строителя специальности «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

Целью преподавания дисциплины «Тепломассообмен» является подготовка инженеров-строителей, владеющих навыками грамотной эксплуатации современного теплового оборудования, применяемого в строительстве и строительной индустрии, а также при эксплуатации зданий и сооружений, с целью максимальной экономии энергетических ресурсов и материалов, интенсификации и оптимизации современных энергетических процессов.

Дисциплина «Тепломассообмен» базируется на знаниях студентов, полученных ими в процессе изучения общенаучных и общеинженерных дисциплин учебного плана: высшей математики, физики, технической термодинамики, механики жидкостей и газов.

Самостоятельное выполнение расчётно-графической работы позволит студентам получить навыки применения методов теории тепломассообмена при решении инженерных задач.

В состав расчётно-графической работы входят следующие задачи:

1. Стационарная теплопередача через плоскую стенку.
2. Расчет тепловой изоляции.
3. Нестационарный нагрев длинного круглого вала.
4. Сложный теплообмен.

Вариант задания на выполнение расчётно-графической работы выдаёт преподаватель – руководитель работы.

Задача 1. Стационарная теплопередача через плоскую стенку.

Теплота дымовых газов передаётся через стенку воде. Принимая температуру газов $t_{ж1}$, воды $t_{ж2}$, коэффициент теплоотдачи газами стенке α_1 и от стенки воде α_2 и считая стенку плоской, требуется:

1. Подсчитать термические сопротивления, коэффициенты теплопередачи и количество передаваемой теплоты от газов к воде через 1 м^2 стенки для следующих случаев:
 - а) стенка стальная, совершенно чистая, толщиной δ_2 ($\lambda_2 = 50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$);
 - б) стенка стальная, со стороны воды покрыта слоем накипи толщиной δ_3 ($\lambda_3 = 2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$);
 - в) стенка стальная, со стороны газов покрыта слоем сажи толщиной $\delta_1 = 2 \text{ мм}$ ($\lambda_1 = 0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$);
 - г) стенка стальная, со стороны воды покрыта слоем накипи толщиной δ_3 , а со стороны газов – сажей толщиной δ_1 .
2. Определить температуры всех слоёв стенки для случая "г".
3. Построить в масштабе линию падения температуры в стенке для случая "г".

Таблица 1

Вариант	$t_{ж1}, \text{°C}$	$t_{ж2}, \text{°C}$	$\alpha_1, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	$\alpha_2 \cdot 10^{-3}, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$	$\delta_2, \text{мм}$		$\delta_3, \text{мм}$
					ТВ-1	ТВ-2	
1	1300	220	160	3,5	26	24	10
2	575	200	150	3,0	8	10	5
3	1200	180	140	2,5	21	23	4
4	625	160	130	2,0	11	13	3
5	1100	140	120	1,5	20	22	2
6	675	150	60	1,0	12	14	10
7	1000	160	70	2,0	14	16	9
8	725	170	80	3,0	9	11	8
9	900	180	90	4,0	18	16	7
10	775	190	100	5,0	15	17	6
11	800	225	50	1,0	17	18	7
12	825	200	40	9,8	13	19	6

13	700	110	55	2,2	12	15	8
14	875	120	50	2,1	22	21	7
15	600	130	45	2,0	10	9	6
16	925	140	40	1,9	14	12	5
17	650	150	35	1,8	9	8	4
18	975	100	40	3,0	16	15	2
19	750	125	50	4,0	13	14	3
20	1025	135	60	3,5	19	20	5
21	850	150	45	4,5	16	13	6
22	1075	200	55	2,0	23	21	7
23	950	210	65	2,1	19	17	5
24	1125	175	42	3,1	24	20	8
25	1050	170	160	2,0	17	19	8
26	1175	180	150	2,7	21	23	9
27	1150	190	140	3,2	18	22	7
28	1225	225	135	3,4	20	25	6
29	1250	200	130	2,8	22	26	5
30	1275	130	145	2,6	25	24	4

Задача 2. Расчет тепловой изоляции.

Стальная труба ($\lambda_{ст}$) внутренним диаметром d с толщиной стенки δ_1 покрыта слоем изоляции, коэффициент теплопроводности которой $\lambda_{из}$. По трубе протекает вода, температура которой $t_{ж1}$. Коэффициент теплоотдачи воды к стенке α_1 . Снаружи труба омывается свободным потоком воздуха, температура которого $t_{ж2} = 20$ °С; коэффициент теплоотдачи к воздуху $\alpha_2 = 10$ Вт/(м²·°С).

Требуется:

1. Найти толщину изоляционного материала, обеспечивающую температуру наружной поверхности изоляции 60 °С.
2. Сопоставить тепловые потоки через трубу с изоляцией и без неё при тех же $t_{ж1}$, $t_{ж2}$, α_1 и α_2 .

Таблица 2

Вариант	d , мм		δ_1 , мм	$t_{жс1}$, °C	$\alpha_1 \cdot 10^{-3}$, Вт/(м ² ·°C)	$\lambda_{из}$, Вт/(м·°C)	$\lambda_{мп}$, Вт/(м·°C)
	ТВ-1	ТВ-2					
1	40	100	2,5	220	1,3	0,08	30
2	42	96	3,0	240	1,6	0,28	35
3	44	94	2,5	180	1,4	0,10	40
4	46	92	3,0	160	1,5	0,08	25
5	48	90	4,0	140	1,7	0,13	38
6	50	88	2,5	200	1,8	0,14	70
7	52	86	3,0	130	2,0	0,16	60
8	54	84	2,5	150	2,0	0,12	40
9	56	82	3,0	170	2,2	0,11	45
10	58	80	4,0	190	2,1	0,05	53
11	60	78	2,5	200	2,3	0,09	40
12	62	76	3,0	210	1,0	0,07	42
13	64	74	2,5	230	1,1	0,06	50
14	66	72	3,0	250	1,4	0,08	48
15	68	70	4,0	270	1,3	0,10	35
16	70	68	2,5	290	1,6	0,14	20
17	72	66	3,0	300	1,7	0,16	22
18	74	64	2,5	280	1,8	0,09	24
19	76	62	3,0	260	1,9	0,10	26
20	78	60	4,0	240	2,0	0,28	28
21	80	58	2,5	220	2,2	0,15	30
22	82	56	3,0	200	2,4	0,18	33
23	84	54	2,5	210	2,7	0,09	36
24	86	52	3,0	270	2,3	0,10	38
25	88	50	4,0	210	1,7	0,28	42
26	90	48	2,5	220	1,6	0,10	40
27	92	46	3,0	190	1,8	0,15	39
28	94	44	2,5	180	2,0	0,16	38
29	96	42	3,0	170	2,7	0,16	36
30	98	40	4,0	160	2,3	0,09	44

Задача 3. Нестационарный нагрев длинного круглого вала.

Длинный стальной вал диаметром D с начальной температурой $t_0 = 20$ °С помещён в печь, температура в которой $t_{жс}$. Суммарный коэффициент теплоотдачи к поверхности вала α .

Определить:

1. Время τ_l , необходимое для нагрева вала, если нагрев считается законченным, когда температура на оси вала $t_{r=0} = t_{жс} - 20$ °С.
2. Значение температуры на поверхности вала $t_{r=R}$ в конце нагрева.
3. Значение температур на поверхности и на оси вала через $\tau_2 = (0,2; 0,4; 0,6; 0,8) \cdot \tau_l$ после начала нагрева.
4. Построить в масштабе изменение температур на поверхности и на оси вала в процессе нагрева.

Таблица 3

Вариант	D , мм		$t_{жс}$, °С	α , Вт/(м ² ·°С)
	ТВ-1	ТВ-2		
1	100	900	800	120
2	150	850	850	125
3	200	800	900	130
4	250	750	950	135
5	300	700	1000	140
6	350	650	1050	145
7	400	600	1100	150
8	450	550	1150	155
9	500	450	1200	160
10	550	500	1250	165
11	600	400	1300	170
12	650	350	1350	165
13	700	300	1400	160
14	750	250	1350	155
15	800	200	1300	150
16	850	150	1250	160
17	900	100	1200	155
18	400	900	1150	150
19	150	850	1100	145

20	200	800	1050	140
21	250	850	1000	135
22	300	700	950	130
23	350	650	900	125
24	400	600	850	120
25	450	550	800	125
26	500	450	1400	130
27	550	500	1350	135
28	700	500	1300	140
29	650	350	1250	150
30	700	300	1200	145

Примечание: Для расчёта безразмерных температур на поверхности и на оси вала использовать номограммы, приведенные в приложениях 1,2.

Задача 4. Сложный теплообмен.

Паропровод наружным диаметром d , мм, расположен в большом помещении с температурой воздуха $t_{жс}$, °С. Температура поверхности паропровода $t_{с1}$, °С. Определить тепловые потери с единицы длины паропровода за счет излучения и конвекции и сравнить их. Приведенная степень черноты поверхности ε_{np} . Температуру стен помещения принять равной температуре воздуха, т.е. $t_{с1} = t_{жс}$.

Исходные данные для расчета принять из таблицы 4.

Таблица 4

№ вар	d , мм	$t_{жс}$, °С	ε_{np}	$t_{с1}$, °С	
				ТВ-1	ТВ-2
1	100	10	0,6	500	250
2	200	12	0,65	480	240
3	300	14	0,7	400	230
4	400	16	0,72	440	220
5	450	18	0,78	430	215
6	400	20	0,8	420	210
7	350	22	0,82	410	240
8	300	23	0,8	400	200

9	250	25	0,78	390	310
10	200	26	0,76	380	170
11	225	28	0,74	360	180
12	270	30	0,73	340	170
13	315	27	0,7	320	160
14	320	29	0,8	300	150
15	360	25	0,82	330	180
16	380	24	0,78	350	300
17	400	23	0,79	370	400
18	420	22	0,85	340	440
19	320	20	0,84	330	420
20	180	18	0,83	320	160
21	200	19	0,82	300	150
22	210	17	0,81	310	300
23	220	16	0,8	330	400
24	230	15	0,78	350	410
25	240	14	0,76	370	300
26	300	10	0,74	400	180
27	320	29	0,8	300	150
28	200	26	0,76	380	170
29	270	30	0,73	340	170
30	210	17	0,81	310	300

При выполнении расчётно-графической работы следует использовать следующие **методические указания**:

Задача 1. При решении задачи необходимо использовать уравнение теплоотдачи и теплопередачи $q = a \cdot (t_c - t_{жс})$, Вт/м²; $q = k \cdot (t_{жс1} - t_{жс2})$, Вт/м², а также соотношения для термического сопротивления теплопередачи $R = \frac{1}{a_1} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_2}$, м²·°C/Вт, и коэффициента теплопередачи $k = \frac{1}{R}$, Вт/(м²·°C).

Задача 2. Для определения толщины изоляционного материала необходимо совместно решить уравнение для линейной плотности теплового потока через изолированную трубу

$$q_l = \frac{p \cdot (t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{a_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot I_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot I_{уз}} \cdot \ln \frac{d_{уз}}{d_2} + \frac{1}{a_2 \cdot d_{уз}}}$$
 и уравнение для

линейной плотности теплового потока от изоляции к наружному воздуху $q_l = p \cdot d_{уз} \cdot a_2 \cdot (t_{уз} - t_{ж2})$.

Решение представить в виде

$$y = \ln \frac{d_{уз}}{d_2}, \quad (*)$$

где $y = f(I_{уз}, d_{уз}, d_1, d_2, a_1, a_2, t_{ж1}, t_{ж2}, t_{уз})$.

Уравнение (*) решается графически, для чего задаваясь значениями $d_{уз}$, надо определять y и $\ln \frac{d_{уз}}{d_2}$, а затем из графика получить значение $d_{уз}$, удовлетворяющее уравнению (*).

Задача 3. Для решения задачи необходимо использовать номограммы приложений 1,2. $\Theta_{r=0} = f_1(Bi, Fo)$ и $\Theta_{r=R} = f_2(Bi, Fo)$,

где $\Theta_{r=0} = \frac{t_{ж} - t_{r=0}}{t_{ж} - t_0}$ – безразмерная температура на оси цилиндра,

$\Theta_{r=R} = \frac{t_{ж} - t_{r=R}}{t_{ж} - t_0}$ – безразмерная температура на поверхности

цилиндра, $Bi = \frac{a \cdot R}{I}$, $Fo = \frac{a \cdot t}{R^2}$ – критерии Био и Фурье.

Задача 4. Тепловые потери излучением

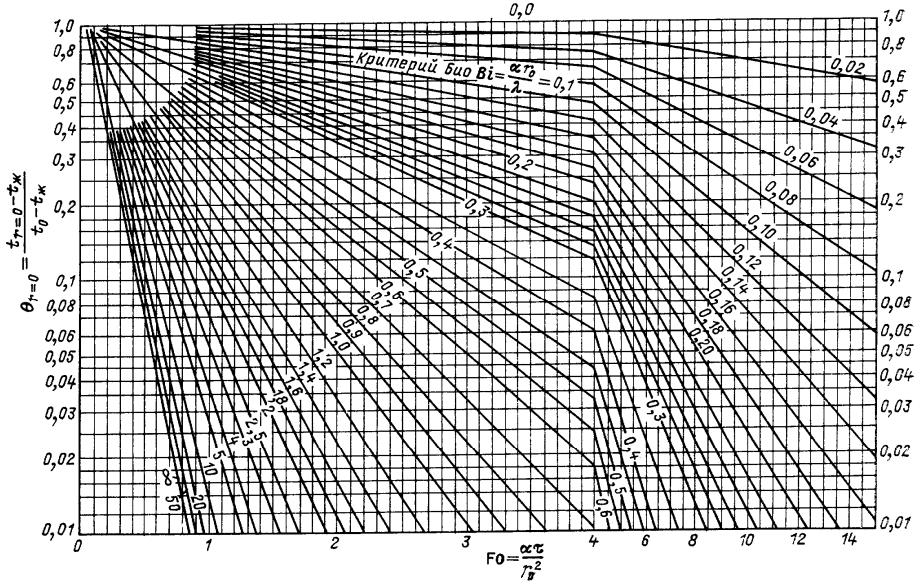
$$q_l^{изл} = e_{np} \cdot S_0 \cdot p \cdot d \cdot \left[\left(\frac{T_{c1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{c2}}{100} \right)^4 \right].$$

Тепловые потери естественной конвекцией

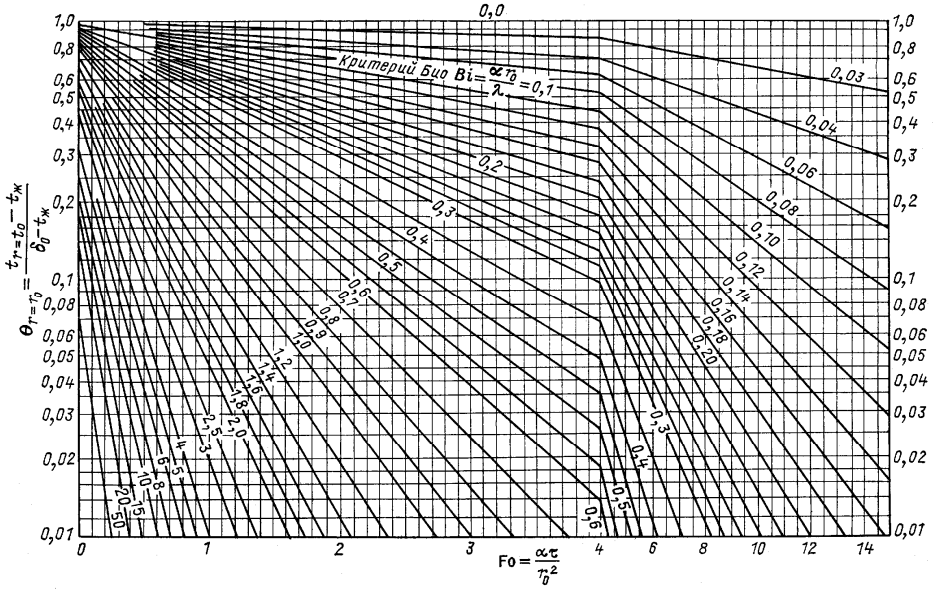
$$q_l^{\text{конв}} = a \cdot p \cdot d \cdot (t_{\text{cl}} - t_{\text{жс}}),$$

где α – коэффициент теплоотдачи, определяемый из критериального уравнения $Nu = 0,47 \cdot Gr^{0,25}$; критерий Грасгофа $Gr = \frac{g \cdot b \cdot (t_{\text{cl}} - t_{\text{жс}}) \cdot d^3}{\nu^2}$; отсюда, $a = Nu \cdot \frac{\lambda_{\text{жс}}}{d}$. Значения ν и λ для воздуха принять по приложению 3.

Зависимость $q_{r=0} = f_1(Bi, Fo)$ для оси цилиндра



Зависимость $q_{r=R} = f_2(Bi, Fo)$ для поверхности цилиндра



Приложение 3

Физические свойства сухого воздуха
($P_0=760$ мм рт.ст. $\sim 1,01 \cdot 10^5$ Па)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	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	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-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

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Задача 1	4
Задача 2	5
Задача 3	7
Задача 4	8
Методические указания	9
Приложения	11