

**Домашнее задание № 1
по теории тепломассообмена**

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

В задании необходимо рассчитать стационарное температурное поле многослойной цилиндрической стенки, в одном или двух слоях которой равномерно распределены внутренние источники теплоты удельной мощностью q_V (рис. 1.1). Построить график изменения температуры по толщине стенки, а также определить тепловые потоки при $r = r_2$ и $r = r_3$.

Геометрические размеры r_1, r_2, r_3, r_4 , коэффициенты теплопроводности материалов $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, расположение тепловыделяющего слоя, а также параметры, соответствующие граничным условиям (температуры стенок $t_{ст}$, плотности тепловых потоков $q_{ст}$, мощности внутренних источников теплоты q_V , коэффициенты теплоотдачи α) приведены в таблицах исходных данных (см. табл. 1.1, 1.2). Индексы «1», «2», «3» у λ и q_V относятся соответственно к 1, 2 и 3-му цилиндрическим слоям.

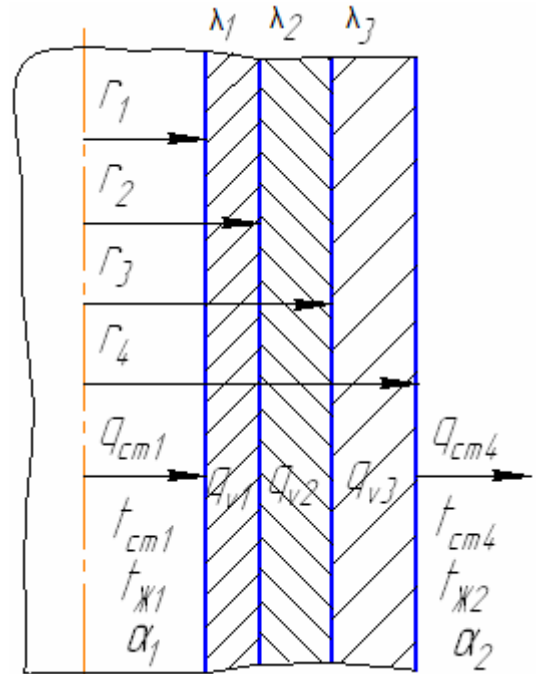


Рис. 1.1

Методические указания

Для определения температурного поля необходимо составить исходную систему алгебраических уравнений на основе известного решения:

$$t = -(q_V \cdot r^2)/(4 \cdot \lambda) + C_1 \cdot \ln(r) + C_2$$

При этом стоит иметь в виду, что это уравнение применимо и в случае отсутствия теплового источника в слое ($q_V = 0$). Полученная система дополняется условиями теплового контакта, предполагающими отсутствие термического сопротивления в месте контакта соприкасающихся слоев при $r = r_2$ и $r = r_3$.

При расчете максимального значения температуры необходимо учесть, что когда теплота отдается окружающей среде как с внутренней, так и с наружной стороны, должен существовать максимум температуры внутри стенки. Изотермическая поверхность, соответствующая максимальной температуре, разделяет многослойную цилиндрическую стенку на две области, и максимальное значение температуры соответствует условию $dt/dr = 0$, т.е. тепловой поток $q = 0$. При графическом построении зависимости $t = f(r)$ рекомендуется проверить наличие этого максимума температуры, а в случае его отсутствия дать объяснение полученному результату.

Результаты расчета предъявить в следующем виде:

Координата r , м	r_1	$(r_1+r_2)/2$	r_2	$(r_2+r_3)/2$	r_3	$(r_3+r_4)/2$	r_4
Температура t , °С							

Таблица 1.1

№ варианта	$t_{ст1}, ^\circ\text{C}$	$q_{ст1,2}, \text{Вт/м}^2$	$\alpha_1, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	$t_{ж1}, ^\circ\text{C}$	$t_{ст4}, ^\circ\text{C}$	$q_{ст4,2}, \text{Вт/м}^2$	$\alpha_2, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	$t_{ж2}, ^\circ\text{C}$
1	200	-	-	-	50	-	-	-
2	-	-	50	80	-	-	120	20
3	-	$5 \cdot 10^4$	-	-	50	-	-	-
4	200	-	-	-	-	$5 \cdot 10^3$	-	-
5	200	-	-	-	-	-	50	20
6	-	-	100	80	50	-	-	-
7	-	$5 \cdot 10^4$	-	-	-	-	100	20
8	-	-	100	80	-	$5 \cdot 10^3$	-	-
9	600	-	-	-	200	-	-	-
10	-	-	2000	350	-	-	100	80
11	-	$5 \cdot 10^4$	-	-	200	-	-	-
12	600	-	-	-	-	$5 \cdot 10^4$	-	-
13	600	-	-	-	-	-	127	80
14	-	-	415	250	200	-	-	-
15	-	$3,6 \cdot 10^4$	-	-	-	-	100	80
16	-	-	2280	20	-	$3 \cdot 10^3$	-	-
17	50	-	-	-	170	-	-	-
18	-	-	100	20	-	-	117	150
19	-	$1,8 \cdot 10^3$	-	-	600	-	-	-
20	50	-	-	-	-	$53,7 \cdot 10^3$	-	-
21	50	-	-	-	-	-	530	100
22	-	-	1000	20	290	-	-	-
23	-	$5 \cdot 10^3$	-	-	-	-	630	50
24	-	-	1000	20	-	$27,5 \cdot 10^3$	-	-
25	200	-	-	-	50	-	-	-
26	-	-	50	80	-	-	120	20
27	-	$5 \cdot 10^4$	-	-	50	-	-	-
28	200	-	-	-	-	$5 \cdot 10^4$	-	-
29	200	-	-	-	-	-	50	20
30	-	-	100	80	50	-	-	-

Таблица 1.2

№ вариантов	q_{11}	q_{12}	q_{13}	r_1	r_2	r_3	r_4	λ_1	λ_2	λ_3
	МВт/м ³			мм				Вт/(м·К)		
1...8	10	0	0	24	28	38	40	15	3	80
9...16	0	10	0	20	22	30	40	80	15	3
17...24	0	0	10	20	30	32	40	3	80	15
25...30	10	0	10	25	35	40	50	15	3	15

**Домашнее задание № 2
по теории тепломассообмена**

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

По горизонтальному стальному трубопроводу, внутренний и наружный диаметры которого D_1 и D_2 соответственно, движется вода со средней скоростью $w_{ж1}$. Средняя температура воды $t_{ж1}$. Трубопровод изолирован асбестом и охлаждается посредством естественной конвекции сухим воздухом с температурой $t_{ж2}$.

Определить наружный диаметр изоляции, при котором на внешней поверхности изоляции устанавливается температура $t_{ст3}$. Определить линейный коэффициент теплопередачи от воды к воздуху k_l , Вт/(м·К); потери теплоты с 1 м трубопровода q_l , Вт/м, и температуру наружной поверхности стального трубопровода $t_{ст2}$, °С.

Целесообразно ли в рассматриваемом случае применять для тепловой изоляции асбест, т. е. приводит ли асбестовая изоляция к уменьшению теплового потока с поверхности трубопровода?

При решении задачи принять следующие упрощающие предположения: течение воды в трубопроводе является термически стабилизированным; между наружной поверхностью стального трубопровода и внутренней поверхностью изоляции существует идеальный тепловой контакт; считать, что коэффициенты теплопроводности стали $\lambda_1 = 50$ Вт/(м·К) и асбеста $\lambda_2 = 0,106$ Вт/(м·К) не зависят от температуры.

Наружный диаметр изоляции должен быть рассчитан с такой точностью, чтобы температура на наружной поверхности изоляции отличалась от заданной не более чем на 0,1 °С. Необходимые для выполнения задания данные приведены в табл. 2.1.

Методические указания

Средние коэффициенты теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубы можно рассчитывать по следующим формулам:

а) ламинарное течение ($Re_{ж1} \leq 2100$)

$$\overline{Nu}_{ж1} = 0,15 Re_{ж1}^{1/3} Pr_{ж1}^{0,43} Gr_{ж1}^{0,1} (Pr_{ж1} / Pr_{ст1})^{0,25}, \quad (2.1)$$

б) переходное течение ($2100 < Re_{ж1} \leq 10^4$)

$$\overline{Nu}_{ж1} = 0,116 (Re_{ж1}^{2/3} - 125) Pr_{ж1}^{1/3} (\mu_{ж1} / \mu_{ст1})^{0,14}, \quad (2.2)$$

в) турбулентное течение ($Re_{ж1} > 10^4$)

$$\overline{Nu}_{ж1} = 0,023 Re_{ж1}^{0,8} Pr_{ж1}^{1/3} (\mu_{ж1} / \mu_{ст1})^{0,14}. \quad (2.3)$$

Для расчета средних коэффициентов теплоотдачи при свободном движении воздуха около горизонтальных труб может быть, использована формула

$$\overline{Nu}_{ж2} = 0,5 (Gr_{ж2} Pr_{ж2})^{0,25}. \quad (2.4)$$

Таблица 2.1

№ варианта	D_1 , мм	D_2 , мм	$w_{ж1}$, м/с	$t_{ж1}$, °С	$t_{ж2}$, °С	$t_{ст3}$, °С
1	20	25	0,005	100	20	40
2	20	25	0,010	108	20	40
3	20	25	0,015	116	20	40
4	20	25	0,020	124	20	40
5	25	32	0,025	132	22	44
6	25	32	0,030	140	22	44
7	25	32	0,035	148	22	44
8	25	32	0,040	156	22	44
9	25	32	0,045	164	22	44
10	30	37	0,050	172	24	48
11	30	37	0,055	180	24	48
12	30	37	0,060	188	24	48
13	30	37	0,065	196	24	48
14	30	37	0,070	204	24	48
15	35	42	0,075	212	26	52
16	35	42	0,080	220	26	52
17	35	42	0,085	228	26	52
18	35	42	0,090	220	26	52
19	35	42	0,095	212	26	52
20	40	47	0,100	204	28	48
21	40	47	0,105	196	28	48
22	40	47	0,110	188	28	48
23	40	47	0,115	180	28	48
24	40	47	0,120	172	28	48
25	45	52	0,125	164	30	44
26	45	52	0,130	156	30	44
27	45	52	0,135	148	30	44
28	45	52	0,140	140	30	44
29	45	52	0,145	132	30	44
30	50	57	0,150	124	32	40

Для вычисления средних коэффициентов теплоотдачи необходимо знать не известные в начале расчета температуру на внутренней поверхности стального трубопровода и наружный диаметр изоляции. Целесообразно задачу решать методом последовательных приближений. В качестве начального приближения можно принять, что температура на внутренней поверхности стального трубопровода близка к средней температуре воды $t_{ст1} \approx t_{ж1}$, и, следовательно, в формулах для вычисления $Nu_{ж1}$ можно полагать $Pr_{ст1} \approx Pr_{ж1}$, $\mu_{ст1} \approx \mu_{ж1}$. Наружный диаметр изоляции в первом приближении можно принять в два раза большим наружного диаметра стального трубопровода. Итеративный процесс продолжается до тех пор, пока вычисленная температура наружной поверхности изоляции не будет совпадать с заданной точностью с требуемым значением. Для определения наружного диаметра изоляции в каждом из последующих приближений можно воспользоваться формулой

$$D_3' = \frac{q_l}{\pi \alpha_2 (t_{ст3} - t_{ж2})}, \quad (2.5)$$

где $t_{ст3}$ — заданная температура наружной поверхности изоляции, °С.
Физические свойства воздуха берутся из таблиц Приложения.

Приложения к Д.З. № 2

Таблица 2.2. Физические свойства воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5},$ Па	$\beta \cdot 10^4,$ 1/К	$c,$ кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2,$ Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^6,$ Н·с/м ²	Pr	$\nu \cdot 10^3,$ м ³ /кг
0,01	0,0061	-	4,218	55,13	1785,5	13,67	1,0002
10	0,0123	0,7	4,193	57,45	1304,4	9,52	1,0004
20	0,0234	1,82	4,182	59,9	1003,5	7,02	1,0018
30	0,0424	3,21	4,178	61,8	800,7	5,42	1,0044
40	0,0738	3,87	4,179	63,4	652,7	4,31	1,0079
50	0,1234	4,49	4,181	64,8	548,8	3,54	1,0121
60	0,1992	5,11	4,184	65,9	469,4	2,98	1,0171
70	0,3117	5,7	4,189	66,8	405,7	2,55	1,0228
80	0,4736	6,32	4,196	67,5	354,8	2,21	1,0290
90	0,7011	6,95	4,205	68,0	314,6	1,95	1,0359
100	1,0132	7,52	4,217	68,3	282,2	1,75	1,0435
110	1,4326	8,08	4,230	68,5	258,7	1,60	1,0515
120	1,9854	8,64	4,245	68,6	237,6	1,47	1,0603
130	2,7011	9,19	4,264	68,6	217,6	1,36	1,0697
140	3,614	9,72	4,286	68,5	200,9	1,26	1,0798
150	4,760	10,3	4,311	68,4	186,2	1,17	1,0906
160	6,180	107	4,340	66,3	173,5	1,10	1,1021
170	7,920	11,3	4,372	67,9	162,7	1,04	1,1144
180	10,027	11,9	4,409	67,5	152,9	1,00	1,1275
190	12,553	12,6	4,451	67,0	144,1	0,96	1,1415
200	15,551	13,3	4,498	66,3	136,2	0,93	1,1565
210	19,080	14,1	4,552	65,5	130,3	0,91	1,1726
220	23,201	14,8	4,614	64,5	124,5	0,89	1,900
230	27,979	15,9	4,686	63,7	119,6	0,88	1,2087
240	33,480	16,8	4,769	62,8	114,7	0,87	1,2291
250	39,776	18,1	4,866	61,8	108,8	0,86	1,2512
260	46,94	19,7	4,981	60,5	105,8	0,87	1,2755
270	55,05	21,6	5,118	59,0	101,9	0,88	1,3023
280	64,19	23,7	5,28	57,5	98,0	0,90	1,3321
290	74,45	26,2	5,49	55,8	94,1	0,93	1,3655
300	85,92	29,2	5,75	54,0	91,1	0,97	1,4036
310	98,70	32,9	6,10	52,3	88,2	1,03	1,447
320	112,90	28,2	6,56	50,6	85,3	1,11	1,449
330	128,65	43,3	7,21	48,4	81,3	1,22	1,562
340	146,08	53,4	8,16	45,7	77,4	1,39	1,639
350	165,37	66,8	9,80	43,0	72,5	1,60	1,741
360	186,74	109	13,98	39,5	66,6	2,35	1,894
370	210,53	264	40,32	33,7	56,8	6,79	2,22

Таблица 2.3. Физические свойства сухого воздуха при $p = 10^5$ Па

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho,$ кг/ м ³	$c_p,$ кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2,$ Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^6,$ Н·с/м ²	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с	$a \cdot 10^6,$ м ² /с	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	14,6	9,23	12,7	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	15,2	10,04	13,8	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	15,7	10,80	14,9	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	12,79	16,2	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	16,7	12,43	17,4	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	18,8	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,16	20,0	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	21,4	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	16,00	22,9	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,95	24,3	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	25,7	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	18,97	27,2	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	28,6	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	21,09	30,2	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,5	22,10	31,9	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	23,13	33,6	0,688
120	0,898	1,009	3,34	22,8	25,45	36,8	0,686
140	0,854	1,013	3,49	23,7	27,80	40,3	0,684
160	0,815	1,017	3,54	24,5	30,09	43,9	0,682
180	0,779	1,022	3,78	25,3	32,49	47,5	0,681
200	0,746	1,026	3,93	26,0	34,85	51,4	0,680
250	0,674	1,038	4,27	27,4	40,61	61,0	0,677
300	0,615	1,047	4,60	29,7	48,33	71,6	0,674
350	0,566	1,059	4,91	31,4	55,46	81,9	0,676
400	0,524	1,068	5,21	33,0	63,09	93,1	0,678
500	0,456	1,093	5,74	36,2	79,38	115,3	0,687
600	0,404	1,114	6,22	39,1	96,89	138,3	0,699
700	0,362	1,135	6,71	41,8	115,4	163,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	44,3	134,8	188,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	46,7	155,1	216,2	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	49,0	177,1	245,9	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	51,2	199,3	276,2	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	53,5	233,7	316,5	0,724

**Домашнее задание № 3
по теории теплообмена**

ЛУЧИСТЫЙ ТЕПЛОБМЕН

Шахматный пучок труб теплообменного аппарата находится в среде высокотемпературной газовой смеси. Известны геометрические характеристики пучка: внешний диаметр труб d и относительные значения шагов по фронту s_1/d и глубине s_2/d расположения труб (рис. 3.1). Длину труб считать неограниченной.

Зная состав смеси в массовых долях g_{CO_2} , g_{H_2O} , её температуру T_r и давление $p=0,0881$ МПа, а также среднюю температуру поверхности труб $T_{ст}$ и степень ее черноты $\epsilon_{ст}=0,82$, определить:

- 1) лучистый тепловой поток и коэффициент теплоотдачи излучением от газа к поверхности труб;
- 2) влияние геометрических характеристик s_1/d (для вариантов с 1-го по 15-й) и s_2/d (для вариантов с 16-го по 30-й) на коэффициент теплоотдачи излучением, если их значения изменяются в диапазоне $2,6 \leq s_1/d \leq 2,95$ и $1,7 \leq s_2/d \leq 4,5$.

Необходимые для выполнения задания данные приведены в табл. 3.1.

Методические указания

Задание выполняется по методике, изложенной в учебнике [1]. Для определения эффективной толщины газового слоя l рекомендуется использовать следующую формулу:

$$l = 1,08d \left(\frac{s_1 s_2}{d^2} - 0,785 \right).$$

Для оценки влияния геометрических факторов s_1/d или s_2/d на значение коэффициента теплоотдачи излучением расчеты выполняются для четырех различных значений поперечного (s_1) или продольного (s_2) шага, выбранных в указанном диапазоне s_1/d или s_2/d . Результаты проведенного исследования рекомендуется представить в виде графиков $\alpha_{л}=f(s_1/d)$ или $\alpha_{л}=f(s_2/d)$.

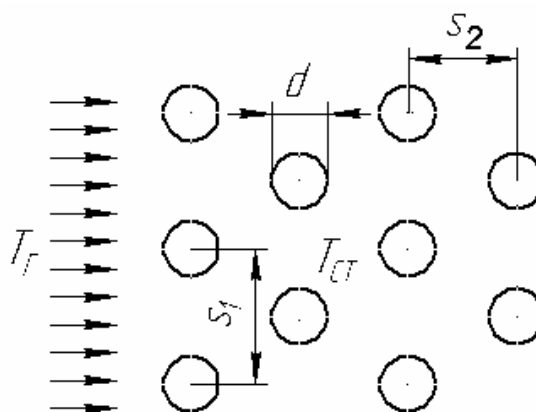


Рис. 3.1

Таблица 3.1

№ варианта	$T_r, ^\circ\text{C}$	$T_{ст}, ^\circ\text{C}$	$g_{CO_2}, \%$	$g_{H_2O}, \%$	$d, \text{мм}$	s_1/d	s_2/d
1	1200	1000	6,5	13,5	60	2,85	1,9
2	1190	980	7,0	13,5	62	2,85	1,9
3	1180	960	7,5	13,0	64	2,85	1,9
4	1170	940	8,0	13,0	66	2,8	1,95
5	1160	920	8,5	12,5	68	2,8	1,95
6	1150	900	9,0	12,5	70	2,8	1,95
7	1140	880	9,5	12,0	72	2,95	1,8
8	1130	860	10,0	12,0	74	2,95	1,8
9	1120	840	10,5	11,5	76	2,95	1,8
10	1110	820	11,0,	11,5	78	2,9	2,6
11	1000	800	11,5	10,0	80	2,9	2,6
12	990	780	12,0	10,0	82	2,9	2,6
13	980	760	12,5	9,5	84	2,75	3,3
14	970	740	13,0	9,5	86	2,75	3,3
15	960	720	13,5	9,0	84	2,75	3,3
16	950	700	13,0	6,5	82	2,7	4,5
17	940	680	12,5	7,0	80	2,7	4,5
18	930	660	12,0	7,5	78	2,7	4,5
19	920	640	11,5	8,0	76	2,6	3,7
20	910	620	11,0,	8,5	74	2,6	3,7
21	800	600	10,5	9,0	72	2,6	3,7
22	790	580	10,0	9,5	70	2,9	2,9
23	780	560	9,5	10,0	68	2,9	2,9
24	760	540	9,0	10,5	66	2,9	2,9
25	750	520	8,5	11,0,	64	2,7	4,1
26	740	500	8,0	11,5	62	2,7	4,1
27	730	480	7,5	12,0	60	2,7	4,1
28	720	460	7,0	12,5	58	2,8	1,7
29	710	440	6,5	13,0	56	2,8	1,7
30	770	420	6,0	13,5	54	2,8	1,7

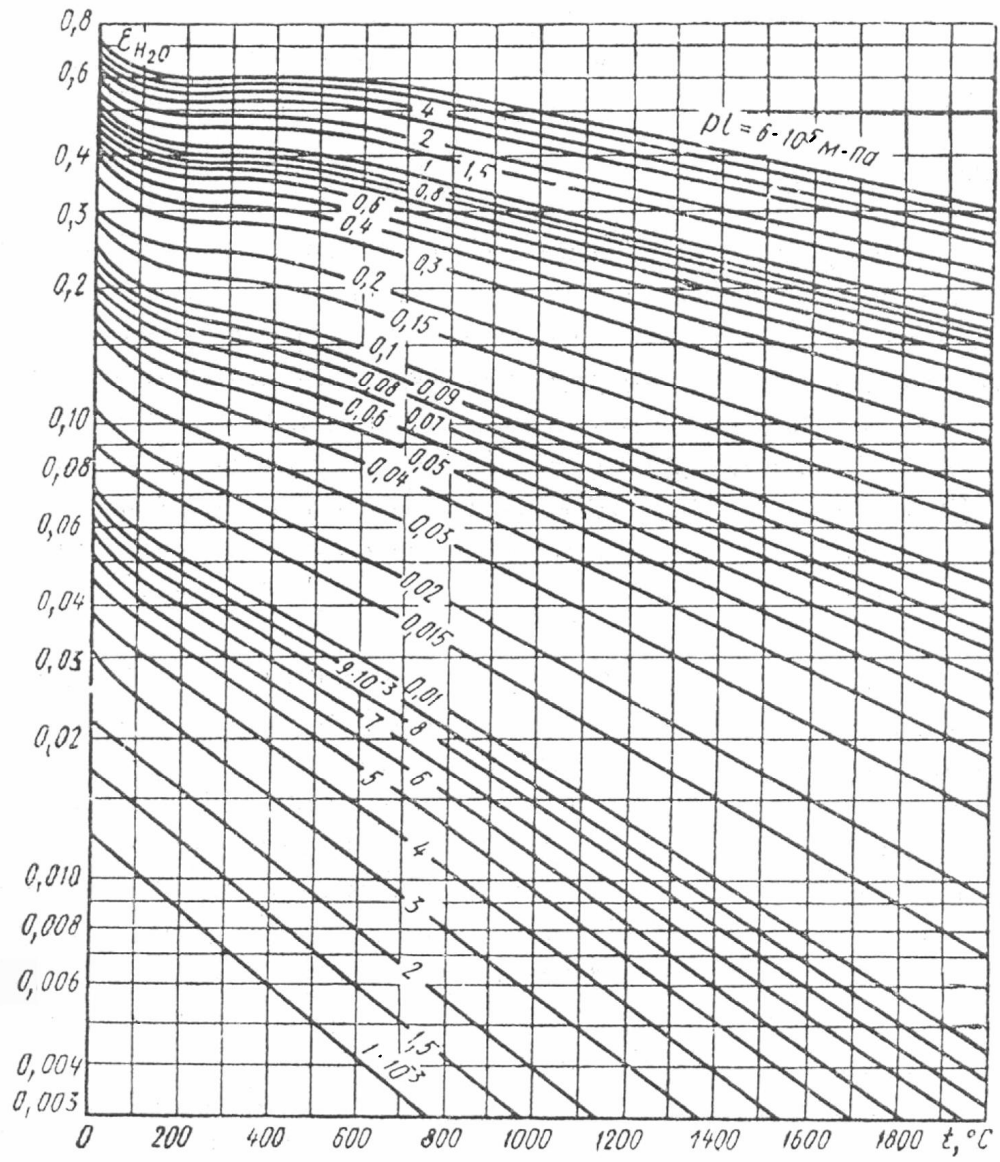


Рис. 3.2

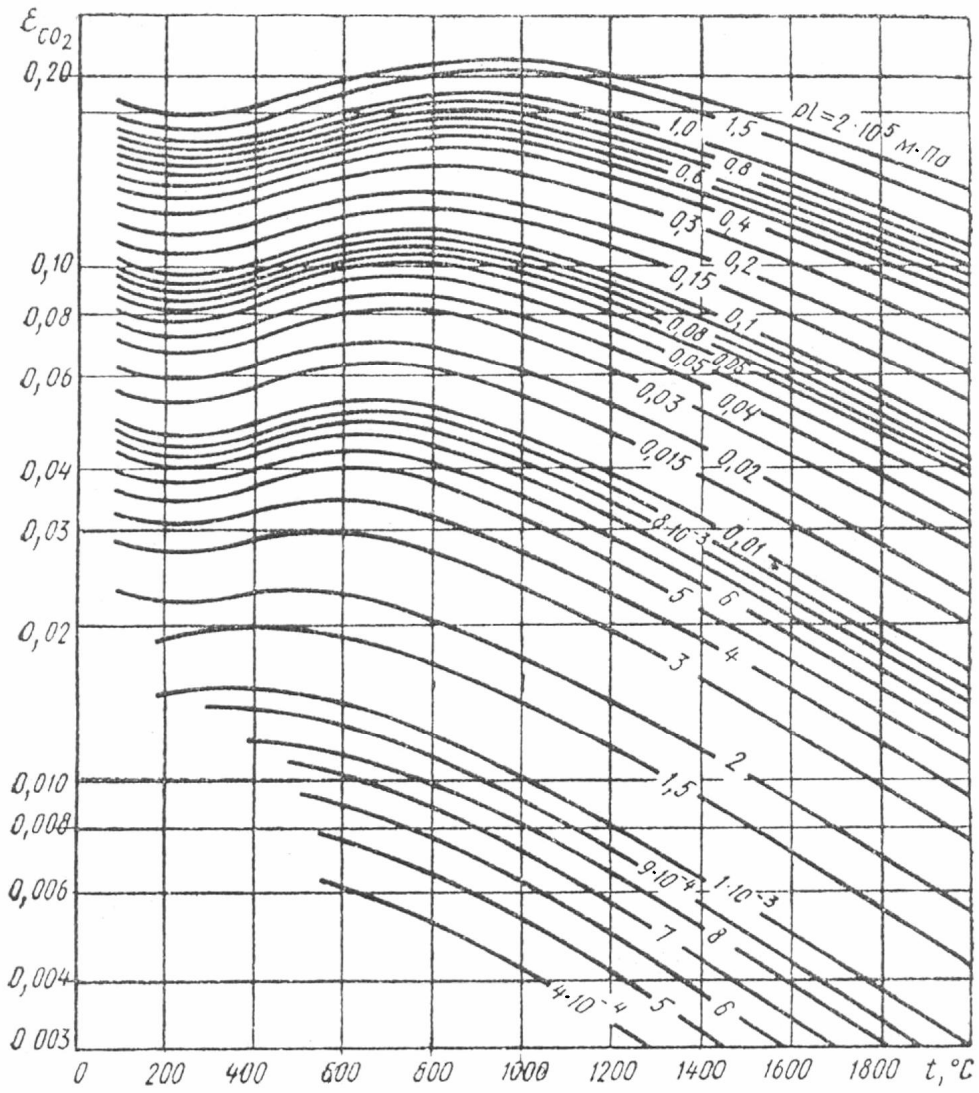


Рис. 3.3

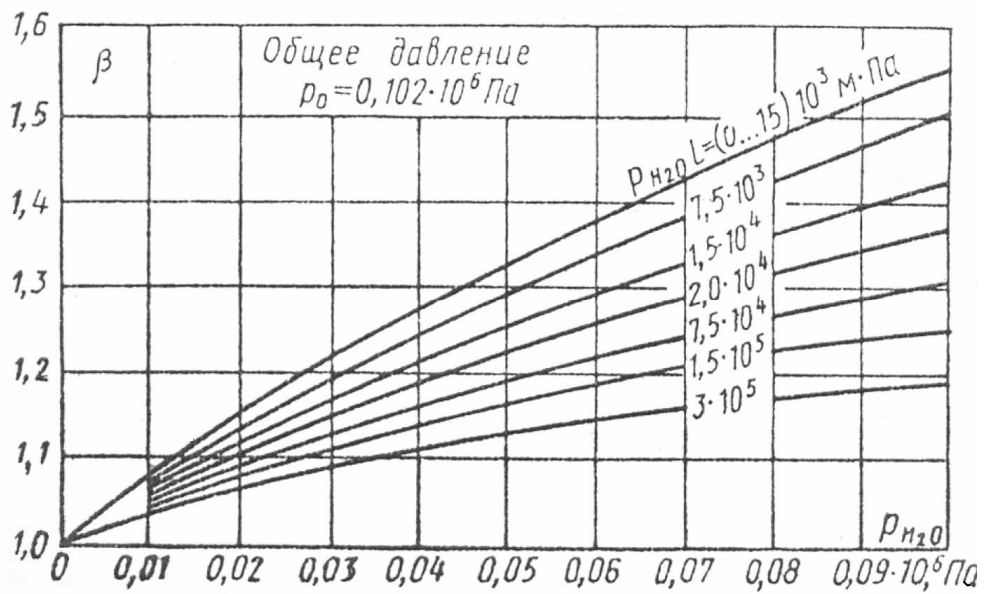


Рис. 3.4