



МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

Г.И.САРКИСОВ

СПРАВОЧНИК
К КУРСОВЫМ
И РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИМ
РАБОТАМ
по курсу
"ТЕПЛОПЕРЕДАЧА"

МОСКВА-1981

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

Г. И. САРКИСОВ

СПРАВОЧНИК К КУРСОВЫМ И РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИМ РАБОТАМ
по курсу
"ТЕПЛОПЕРЕДАЧА"

Учебное пособие

Утверждено
на заседании редсовета
14 января 1980 г.



Москва 1981

ПРЕДИСЛОВИЕ

УДК:536.24(03)

Данное пособие включает в себя справочные материалы, необходимые для выполнения курсовых и расчетно-графических работ по курсу "Теплопередача": сведения о теплофизических свойствах газовых и жидкометаллических теплоносителей, некоторых металлов и сплавов графита, карбидов, теплоизоляционных материалов, а также таблицы газодинамических функций и стандартной атмосферы. Кроме того, в нем приведены графики для расчета нестационарной теплопроводности, для определения средней логарифмической разности температур и местных сопротивлений в теплообменных аппаратах.

Книга предназначена не только для студентов МАИ, она может быть использована студентами других вузов соответствующего профиля и инженерами некоторых проектно-конструкторских организаций.

Для выполнения теплотехнических расчетов, и в частности, расчетов по теплопередаче (например, в курсовых работах по расчету теплообмена в различных устройствах), необходимы различного рода справочные материалы, главным образом по теплофизическим свойствам тех или иных веществ, а также по нормативным данным стандартов или нормативов, принятых на практике.

Такого рода материалы существуют как в отечественной, так и зарубежной литературе. Они приводятся в специальных справочниках, учебных пособиях, а также в периодических изданиях.

Разрозненность этих материалов, а также ограниченное количество экземпляров их в библиотеке МАИ в значительной степени затрудняет работу студентов и требует непроизводительной траты времени на поиски необходимых для расчета сведений.

В целях сокращения времени на поиски материалов для выполнения работ кафедра сочла целесообразным собрать необходимые материалы справочного характера для курсовых работ по теплопередаче в единый сборник.

Содержание сборника ограничено количеством сведений, необходимых для выполнения имеющихся на кафедре к моменту его издания заданий по курсовым работам. В дальнейшем с расширением и обновлением тематики заданий в случае необходимости в сборник справочных материалов будут включены дополнительные сведения.

© Московский авиационный институт, 1981 г.

Наименование	Обозначение	Единицы СИ	Единицы технические	Множитель для перевода в единицы СИ
Количество теплоты	Q	Дж	ккал	$4,1868 \cdot 10^3$
Тепловой поток	Q	Вт	ккал/ч	1,163
Плотность теплового потока	q	Вт/м ²	ккал/м ² ·ч	1,163
Плотность теплового потока, отнесенная к I погонному метру	q^*	Вт/м	ккал/(м·ч)	1,163
Коэффициент теплопроводности	λ	Вт/(м·К)	ккал/(м·ч·град)	1,163
Термическое сопротивление слоя	δ/λ	м ² ·К/Вт	м ² ·ч·град/ккал	0,86
Коэффициент теплоотдачи	α	Вт/(м ² ·К)	ккал/(м ² ·ч·град)	1,163
Коэффициент теплопередачи	K	Вт/(м ² ·К)	ккал/(м ² ·ч·град)	1,163
Полное термическое сопротивление	$1/K$	м ² ·К/Вт	м ² ·ч·град/ккал	0,86
Линейный коэффициент теплопередачи	K^*	Вт/(м·К)	ккал/(м·ч·град)	1,163
Коэффициент кинематической вязкости	ν	м ² /с	м ² /ч	1/3600
Коэффициент динамической вязкости	μ	Н·с/м ²	кг·с/м ²	9,807

Коэффициент температуропроводности	a	м ² /с	м ² /ч	1/3600
Коэффициент объемного расширения	β	1/К	1/град	-
Удельная теплоемкость	c	Дж/(кг·К)	ккал/(кг·град)	$4,1868 \cdot 10^3$
Удельный вес	γ	Н/м ³	кгс/м ³	9,807
Плотность	ρ	кг/м ³	кгс/м ⁴	9,807
Температура абс.	T	К	К	-
Температура эмпир.	t	°С	°С	-
Давление	p	Па	кгс/м ²	9,807
Излучательная способность	E	Вт/м ²	ккал/(ч·м ²)	1,163
Коэффициент излучения	C	Вт/(м ² ·К ⁴)	ккал/(ч·м ² ·°К ⁴)	1,163
Степень черноты	ϵ	-	-	1
Мощность	N	Вт (кВт)	лс	735,5
Площадь	F	м ²	м ²	1
Объем	V	м ³	м ³	1
Длина	l	м	м	1
Скорость	w	м/с	м/с	1
Ускорение	g	м/с ²	м/с ²	1

П. ТАБЛИЦА МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ

Высота H, м	Температура T, К	Давление p , Па	Плотность ρ , кг/м ³	Относительная плотность ρ_h / ρ_0	Скорость звука a , м/с	Кинематический коэффициент вязкости ν , м ² /с
0	288,15	101324,72	1,2250	1,0000	340,28	$1,4607 \cdot 10^{-5}$
500	284,90	95458,22	1,1672	$9,5282 \cdot 10^{-1}$	338,36	1,5196
1000	281,65	89875,03	1,1117	9,0751	336,43	1,5812
1500	278,40	84566,14	1,0582	8,6484	334,48	1,6461
2000	275,14	79497,24	1,0066	8,2171	332,52	1,7146
2500	271,89	74692,32	$9,5706 \cdot 10^{-1}$	7,8127	330,55	1,7866
3000	268,64	70124,70	9,0941	7,4237	328,56	1,8624
3500	265,38	65774,41	8,6345	7,0485	326,56	1,9426
4000	262,13	61656,09	8,1942	6,6891	324,56	2,0271
4500	258,88	57748,42	7,7714	6,3440	322,54	2,1162
5000	255,63	54044,74	7,3654	6,0125	320,51	2,2103
5500	252,38	50534,37	6,9758	5,6945	318,47	2,3100
6000	249,13	47213,32	6,6022	5,3895	316,41	2,4253
6500	245,88	44068,25	6,2441	5,0972	314,34	2,5268
7000	242,63	41097,84	5,9010	4,8171	312,25	2,6452
7500	239,38	38290,08	6,5725	4,5489	310,15	2,7705
8000	236,14	35647,64	5,2591	4,2931	308,05	2,9030
8500	232,89	33146,52	4,9585	4,0477	305,92	3,0443
9000	229,64	30790,72	4,6712	3,8132	303,78	3,1942
9500	226,40	28578,90	4,3977	3,5900	301,63	3,3534
10000	223,15	26491,08	4,1357	3,3761	299,45	3,5232
11000	216,66	22690,07	3,6485	2,9784	295,07	3,8966
12000	216,66	19390,35	3,1180	2,5453	295,07	4,5595

Продолжение

Высота H, м	Температура T, К	Давление p , Па	Плотность ρ , кг/м ³	Относительная плотность ρ_h / ρ_0	Скорость звука a , м/с	Кинематический коэффициент вязкости ν , м ² /с
13000	216,66	16571,92	2,6648	2,1753	295,07	5,3351
14000	216,66	14164,13	2,2776	1,8593	295,07	5,2420
15000	216,66	12106,97	1,9467	1,5891	295,07	7,3029
16000	216,66	10347,92	1,6640	1,3584	295,07	8,5437
17000	216,66	8845,91	1,4224	1,1611	295,07	9,9952
18000	216,66	7561,89	1,2159	$9,9257 \cdot 10^{-2}$	295,07	$1,1692 \cdot 10^{-4}$
19000	216,66	6464,65	1,0395	8,4857	295,07	1,3676
20000	216,66	5526,86	$8,887 \cdot 10^{-2}$	7,2547	295,07	1,5997
21000	216,66	4725,33	7,5983	6,2027	295,07	1,8710
22000	216,66	4040,32	6,4966	5,3033	295,07	2,1883
23000	216,66	3454,64	5,5550	4,5347	295,07	2,5593
24000	216,66	2954,15	4,7501	3,8776	295,07	2,9929
25000	216,66	2526,18	4,0621	3,3160	295,07	3,4998
26000	219,40	2162,35	3,4336	2,8030	296,93	4,1842
27000	222,14	1854,51	2,9085	2,3743	298,78	4,9911
28000	224,87	1594,40	2,4701	2,0164	300,61	5,9370
29000	227,61	1372,55	2,1007	1,7149	302,43	7,0510
30000	230,35	1183,59	1,7901	1,4613	304,25	8,3565
31000	233,08	1022,99	1,5291	1,2482	306,05	9,8788
32000	235,82	885,27	1,3078	1,0676	307,84	$1,1661 \cdot 10^{-3}$
33000	238,55	767,15	1,1212	$9,1527 \cdot 10^{-3}$	309,62	1,3730
34000	241,28	666,92	$9,6295 \cdot 10^{-3}$	7,8608	311,38	1,6135
35000	244,01	580,24	8,2842	6,7626	313,14	1,8929

Продолжение						
Высота H, м	Температура T, К	Давление ρ , Па	Плотность ρ , кг/м ³	Относительная плотность ρ_H / ρ_0	Скорость звука a , м/с	Кинематический коэффициент вязкости ν , м ² /с
36000	246,74	505,61	7,1388	5,8276	314,89	2,2165
37000	249,47	441,24	6,1619	5,0301	316,62	2,5908
38000	252,20	385,46	5,3244	4,3465	318,36	3,0248
39000	254,93	337,54	4,6128	3,7656	320,07	3,5216
40000	257,66	295,85	4,0003	3,2656	321,78	4,0956
41000	260,38	259,80	3,4762	2,8377	323,47	4,7529
42000	263,11	228,50	3,0236	2,4682	325,16	5,5099
43000	265,83	201,06	2,6350	2,1510	326,84	6,3748
44000	268,56	177,18	2,2984	1,8762	328,51	7,3674
45000	271,28	156,41	2,0086	1,6397	330,17	8,4977
46000	274,00	138,25	1,7577	1,4349	331,82	9,7869
47000	274,00	122,26	1,5545	1,2690	331,82	1,1067 · 10 ⁻²
48000	274,00	108,21	1,3748	1,1223	331,82	1,2513
49000	274,00	95,63	1,2159	9,9258 · 10 ⁻⁴	331,82	1,4148
50000	274,00	84,58	1,0754	8,7788	331,98	1,5997
55000	270,56	45,76	5,8928 · 10 ⁻⁴	4,8105	329,74	2,8903
60000	253,40	24,12	3,3162	2,7071	319,11	4,8749
65000	236,26	12,16	1,7937	1,4612	308,13	8,5151
70000	219,15	5,83	9,2747 · 10 ⁻⁵	7,5712 · 10 ⁻⁵	296,76	1,5475 · 10 ⁻¹
75000	202,06	2,64	4,5490	3,7135	284,95	2,9463
80000	185,00	1,11	2,0979	1,7126	272,66	5,9202
85000	185,00	0,45	8,5303 · 10 ⁻⁶	6,9635 · 10 ⁻⁶	272,66	1,4560 · 10 ⁻²
90000	185,00	1,844 · 10 ⁻¹	3,4733	2,8354	272,66	3,5759

Продолжение						
Высота H, м	Температура T, К	Давление ρ , Па	Плотность ρ , кг/м ³	Относительная плотность ρ_H / ρ_0	Скорость звука a , м/с	Кинематический коэффициент вязкости ν , м ² /с
95000	135,00	7,52 · 10 ⁻²	1,4170	1,1567		
100000	209,22	3,251	5,3993 · 10 ⁻⁷	4,4075 · 10 ⁻⁷		
110000	257,36	7,822 · 10 ⁻³	1,0583	8,6391 · 10 ⁻⁸		
120000	332,24	2,555	2,6586 · 10 ⁻⁸	2,1703		
130000	552,04	1,207	7,5045 · 10 ⁻⁹	6,1261 · 10 ⁻⁹		
140000	768,00	7,3852 · 10 ⁻⁴	3,2766	2,6748		
150000	980,05	5,1233	1,7682	1,4434		
160000	1155,3	3,8126	1,1081	9,0457 · 10 ⁻¹⁰		
170000	1175,0	2,9180	8,2787 · 10 ⁻¹⁰	6,7581		
180000	1193,2	2,2494	6,2332	5,0883		
190000	1210,6	1,7456	4,7276	3,8593		
200000	1226,8	1,3634	3,6109	2,9477		

Нет данных

Таблица I

Теплофизические свойства газообразного водорода при давлении 10^5 Па в зависимости от температуры

Водород (H , I , $A = 1,00797$; $R = 4124,4 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
при давлении 10^5 Па

$T_{пл} = 13,96 \pm 0,40 \text{ К}$; $\gamma_{пл} = 58,62 \text{ кДж}/\text{кг}$
 $T_{кна} = 20,38 \pm 0,04 \text{ К}$; $\gamma_{кна} = 454 \pm 2 \text{ кДж}/\text{кг}$

T , К	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/кг·К	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$a \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
150	0,1615	12,61	10,1	5,60	34,67	49,6	0,699
200	0,1211	13,54	13,1	6,81	56,23	79,9	0,704
280	0,0865	14,24	17,2	8,58	99,19	139,6	0,710
300	0,0807	14,31	18,3	8,90	110,29	158,5	0,696
350	0,0692	14,43	20,4	9,86	142,49	204,3	0,697
400	0,0605	14,48	22,6	10,82	178,84	258,0	0,698
450	0,0538	14,50	24,7	11,71	221,78	322,6	0,687
500	0,0484	14,52	26,6	12,59	260,12	378,5	0,687
550	0,0441	14,53	28,5	13,42	304,31	444,8	0,684
600	0,0403	14,55	30,5	14,25	353,60	520,2	0,680
650	0,0372	14,58	32,3	15,02	403,76	595,5	0,678
700	0,0346	14,61	34,2	15,78	456,07	676,5	0,674
750	0,0323	14,65	36,0	16,52	511,46	760,8	0,672
800	0,0303	14,70	37,8	17,24	568,98	848,7	0,670
850	0,0262	14,76	39,5	17,95	685,11	1021,4	0,671
900	0,0269	14,83	41,2	18,65	693,31	1032,8	0,671
950	0,0255	14,90	43,0	19,34	758,43	1131,7	0,670
1000	0,0242	14,99	44,8	20,02	827,27	1235,0	0,670
1100	0,0220	15,17	48,8	21,39	972,27	1462,2	0,665
1200	0,0202	15,37	52,8	22,67	1122,28	1700,6	0,660
1300	0,0186	15,59	56,8	23,87	1283,33	1958,8	0,655
1400	0,0173	15,81	61,0	-	-	-	-
1500	0,0162	16,03	65,5	-	-	-	-

T , К	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/кг·К	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/м·К	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$a \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
1600	0,0152	16,28	66,50	27,37	1801	2687	0,67
1700	0,0143	16,58	-	-	-	-	-
1800	0,0135	16,96	75,78	29,61	2193	3310	0,66
1900	0,0128	17,49	-	-	-	-	-
2000	0,0121	18,25	90,50	31,82	2630	4098	0,64
2200	0,0110	20,96	119,00	34,19	3108	5161	0,60
2400	0,0100	26,27	174,50	36,65	3665	6643	0,55
2600	0,00915	35,74	275,50	39,19	4283	8409	0,51
2800	0,00832	50,99	441,80	42,34	5089	10414	0,49
3000	0,00749	73,42	687,10	44,74	5973	12495	0,48
3200	0,00665	103,8	1002,00	47,56	7152	14586	0,49
3400	0,00581	137,9	1340,00	50,08	8620	16725	0,52
3600	0,00501	169,1	1600,00	51,89	10357	18886	0,55
3800	0,00430	183,7	1668,00	52,71	12258	21116	0,58
4000	0,00373	172,5	1505,00	52,73	14137	23390	0,60
4200	0,00331	141,1	1199,00	52,55	15876	25672	0,62
4400	0,00301	105,1	884,90	52,66	17495	27972	0,63
4600	0,00278	75,61	638,70	53,19	19133	30886	0,63
4800	0,00262	55,21	471,50	54,11	20653	32596	0,63
5000	0,00248	42,24	366,30	55,33	22310	34967	0,64
5200	0,00237	34,26	302,20	56,74	23941	37218	0,64
5400	0,00227	29,37	264,20	58,28	25674	39628	0,65
5600	0,00218	26,85	242,10	59,93	27491	42146	0,65
5800	0,00210	24,46	230,00	61,67	29367	44777	0,66
6000	0,00203	23,27	224,10	63,50	31281	47441	0,66

Таблица 2

Теплофизические свойства газообразного кислорода

при давлении 10^5 Па в зависимости от температурыКислород ($0,8, A = 15,9994 R = 259,8 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$)при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.) $T_{пл} = 54,358 \text{ К}$ $\gamma_{пл} = 13,82 \pm 0,84 \text{ кДж/кг}$ $T_{кип} = 90,18 \pm 0,04 \text{ К}$ $\gamma_{кип} = 213,11 \pm 215,62 \text{ кДж/кг}$

$T, \text{ К}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr
100	3,95	0,962	7,64	0,917	1,93	2,41	0,800
110	3,56	0,937	8,46	1,013	2,38	3,04	0,783
120	3,26	0,928	9,26	1,108	2,84	3,66	0,782
130	3,00	0,925	10,03	1,202	3,34	4,33	0,771
140	2,78	0,922	10,77	1,294	3,87	5,05	0,766
150	2,58	0,921	11,48	1,385	4,45	5,83	0,763
160	2,42	0,919	12,16	1,475	5,02	6,63	0,757
170	2,28	0,918	12,82	1,565	5,62	7,48	0,751
180	2,15	0,917	13,47	1,654	6,27	8,39	0,747
190	2,03	0,916	14,11	1,743	6,95	9,37	0,742
200	1,931	0,915	14,75	1,831	7,64	10,36	0,737
210	1,839	0,915	15,38	1,918	8,36	11,40	0,733
220	1,752	0,914	16,01	2,004	9,14	12,51	0,731
230	1,677	0,914	16,63	2,089	9,92	13,63	0,728
240	1,607	0,915	17,25	2,173	10,73	14,78	0,726
250	1,542	0,915	17,86	2,256	11,58	15,99	0,724
260	1,492	0,916	18,45	2,338	12,37	17,11	0,723
270	1,428	0,916	19,02	2,419	13,32	18,49	0,720
280	1,376	0,917	19,59	2,499	14,24	19,81	0,719
290	1,329	0,919	20,16	2,579	15,17	21,12	0,717
300	1,285	0,920	20,72	2,659	16,12	22,49	0,717
310	1,241	0,921	21,27	2,738	17,14	23,96	0,715
320	1,203	0,923	21,80	2,818	18,12	25,38	0,714
330	1,168	0,925	22,32	2,897	19,11	26,81	0,713
340	1,132	0,927	22,84	2,975	20,18	28,35	0,712
350	1,100	0,929	23,35	3,052	21,23	29,87	0,711
400	0,963	0,942	25,82	3,430	26,81	37,81	0,709
450	0,856	0,956	28,14	3,797	32,87	46,40	0,708
500	0,770	0,972	30,33	4,157	39,39	55,54	0,709
550	0,700	0,988	32,40	4,513	46,29	65,25	0,709

Продолжение табл. 2

$T, \text{ К}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr
600	0,642	1,003	34,37	4,865	53,54	75,55	0,709
650	0,593	1,018	36,26	5,208	61,15	86,27	0,709
700	0,550	1,031	38,08	5,539	69,24	97,68	0,709
750	0,513	1,043	39,83	5,857	77,64	109,46	0,709
800	0,481	1,054	41,52	6,163	86,32	121,56	0,710
850	0,453	1,065	43,15	6,461	95,25	133,92	0,711
900	0,428	1,074	44,72	6,753	104,49	146,91	0,711
950	0,407	1,082	46,23	7,038	113,59	159,82	0,711
1000	0,385	1,090	47,70	7,316	123,90	174,34	0,711
1100	0,350	1,103	50,55	7,849	144,43	203,32	0,710
1200	0,331	1,115	53,26	8,353	166,21	191,60	0,711
1300	0,296	1,125	55,84	8,834	188,65	265,29	0,711

Таблица 3

Теплофизические свойства газообразного воздуха при давлении 10^5 Па в зависимости от температурыВоздух ($M = 28,95, R = 287 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$)при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.) $T_{пл} = 60,16 \text{ К}$, $T_{кип} = 196,78 \pm 4,19 \text{ кДж/кг}$

$T, \text{ К}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$a \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr
воздух газообразный							
90	3,981	1,044	6,41	0,841	1,61	2,024	0,795
100	3,556	1,032	7,11	0,934	1,999	2,545	0,785
120	2,939	1,020	8,45	1,11	2,875	3,703	0,776
140	2,510	1,014	9,72	1,29	3,873	5,068	0,764
160	2,188	1,010	10,94	1,47	5,0	6,652	0,752
180	1,942	1,008	12,11	1,64	6,236	8,378	0,744
200	1,746	1,007	13,25	1,81	7,589	10,294	0,737
220	1,586	1,006	14,36	1,98	9,054	12,409	0,730
240	1,453	1,006	15,44	2,14	10,626	14,64	0,726
260	1,341	1,006	16,46	2,31	12,274	17,12	0,717
280	1,245	1,006	17,46	2,47	14,024	19,72	0,711
300	1,161	1,007	18,46	2,63	15,9	22,495	0,707

T, K	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/кг·К	$\mu \cdot 10^6$, Н·с/м ²	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/м·К	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
350	0,995	1,009	20,82	3,00	20,925	29,88	0,700
400	0,871	1,014	23,01	3,38	26,42	38,27	0,690
450	0,774	1,021	25,07	3,73	32,39	47,2	0,686
500	0,696	1,030	27,01	4,07	38,807	56,77	0,6835
550	0,633	1,040	28,84	4,39	45,561	66,68	0,6832
600	0,580	1,051	30,58	4,69	52,724	76,94	0,685
650	0,536	1,063	32,25	4,97	60,168	87,23	0,6898
700	0,497	1,075	33,88	5,24	68,169	98,08	0,695
750	0,464	1,087	35,46	5,49	76,422	108,84	0,702
800	0,435	1,099	36,98	5,73	85,01	119,86	0,709
850	0,410	1,110	38,43	5,96	93,732	130,96	0,716
900	0,387	1,121	39,81	6,2	102,868	142,91	0,7198
950	0,367	1,131	-	6,43	-	154,91	-
1000	0,348	1,141	42,44	6,67	121,954	167,98	0,726
1100	0,317	1,159	44,90	7,15	141,64	194,61	0,728
1200	0,290	1,175	47,30	7,63	163,103	223,92	0,7284
1300	0,268	1,189	49,60	-	185,075	-	-

воздух диссоциированный

1400	0,249	1,207	-	-	-	-	-
1500	0,232	1,230	55,7	10,0	240	350	0,686
1600	0,218	1,248	58,4	10,6	268	390	0,687
1700	0,205	1,267	61,1	11,3	298	435	0,685
1800	0,193	1,286	63,7	12,0	330	483	0,683
1900	0,183	1,307	66,3	12,8	362	535	0,677
2000	0,174	1,337	68,9	13,7	396	589	0,672
2100	0,166	1,372	71,5	14,7	431	645	0,668
2200	0,158	1,417	74,0	16,0	468	715	0,655
2300	0,151	1,478	76,6	17,5	507	784	0,647

T, K	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/кг·К	$\mu \cdot 10^6$, Н·с/м ²	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/м·К	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
2400	0,145	1,558	79,2	19,6	546	868	0,629
2500	0,139	1,665	81,8	22,2	588	959	0,618
2600	0,133	1,803	84,4	25,6	635	1068	0,595
2700	0,128	1,978	87,1	29,9	680	1181	0,576
2800	0,123	2,191	89,8	35,2	730	1306	0,559
2900	0,118	2,419	96,2	41,4	785	1450	0,541
3000	0,113	2,726	95,5	48,6	845	1578	0,535
3100	0,109	3,032	98,4	55,8	955	1688	0,566
3200	0,105	3,340	101,3	63,2	965	1802	0,536
3300	0,100	3,624	104,4	69,9	1044	1929	0,541
3400	0,096	3,852	107,5	75,0	1120	2028	0,552
3500	0,092	3,994	110,7	77,9	1203	2120	0,567
3600	0,088	4,024	118,8	78,2	1293	2208	0,586
3700	0,085	3,937	116,9	76,2	1375	2277	0,604
3800	0,081	3,747	120,0	72,2	1481	2379	0,623
3900	0,078	3,490	123,0	67,2	1577	2469	0,639
4000	0,076	3,207	125,9	62,0	1657	2544	0,651
4100	0,073	2,936	128,8	57,4	1764	2678	0,659
4200	0,071	2,705	131,6	53,8	1854	2801	0,662
4300	0,069	2,529	134,3	51,5	1946	2951	0,659
4400	0,067	2,411	137,0	50,5	2045	3126	0,654
4500	0,065	2,352	139,6	50,9	2148	3329	0,645
4600	0,063	2,347	142,2	52,5	2257	3551	0,636
4700	0,062	2,393	144,8	55,4	2335	3734	0,625
4800	0,060	2,488	147,4	59,5	2457	3986	0,616
4900	0,059	2,629	149,9	65,0	2541	4191	0,606
5000	0,058	2,816	152,4	71,8	2628	4396	0,598
5200	0,055	3,333	157,5	89,7	2864	4893	0,585
5400	0,052	4,049	162,4	114,0	3123	5414	0,577
5600	0,049	4,980	167,4	145,2	3416	5950	0,574
5800	0,047	6,131	172,3	183,2	3666	6358	0,577
6000	0,044	7,491	177,1	227,2	4025	6893	0,584

Таблица 4

Термодинамические свойства газообразного азота при давлении 10^5 Па в зависимости от температуры

Азот (N_2 , γ , $M = 28,016$, $R = 296,8 \text{ Дж/(кг К)}$) при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.)

$T_{пл} = 68,15 \text{ К}$; $\lambda_{пл} = 25,54 \pm 2,1 \text{ кДж/кг}$
 $T_{кип} = 77,35 \pm 0,04 \text{ К}$; $\lambda_{кип} = 199,2 \pm 0,1 \text{ кДж/кг}$

T , К	ρ , 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	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	P_r --
260	1,297	1,041	2,29	15,97	12,81	16,96	0,726
280	1,204	1,041	2,44	16,91	14,04	19,47	0,721
300	1,123	1,041	2,59	17,82	15,87	22,15	0,716
350	0,962	1,042	2,93	20,00	20,79	29,23	0,711
400	0,842	1,045	3,27	22,04	26,18	37,16	0,705
450	0,749	1,050	3,58	23,96	31,99	45,52	0,703
500	0,674	1,056	3,89	25,57	37,94	54,65	0,694
550	0,612	1,065	4,17	27,47	44,89	63,98	0,702
600	0,561	1,075	4,46	29,08	51,84	73,95	0,701
650	0,518	1,086	4,72	30,62	59,11	83,90	0,705
700	0,481	1,098	4,99	32,10	66,74	94,48	0,706
750	0,449	1,110	5,24	33,51	74,63	105,1	0,710
800	0,421	1,122	5,48	34,91	82,92	116,0	0,715
850	0,396	1,134	5,72	36,22	91,46	127,4	0,718
900	0,374	1,146	5,97	37,53	100,35	139,3	0,720
950	0,355	1,157	6,22	38,76	109,18	151,4	0,721
1000	0,337	1,167	6,47	39,99	118,66	164,5	0,721
1050	0,321	1,177	6,74	41,16	128,22	178,4	0,719
1100	0,306	1,187	7,00	42,32	138,30	192,7	0,718
1150	0,293	1,196	7,29	43,43	148,23	208,0	0,713
1200	0,281	1,204	7,58	44,53	158,47	224,1	0,707
1250	0,269	1,212	7,84	45,58	169,44	240,5	0,705
1300	0,259	1,219	8,10	46,62	180,00	256,6	0,701

Теплопроводность азота $\lambda \cdot 10^2 \text{ Вт/(м К)}$ в зависимости от температуры и давления

T , К	$p \cdot 10^{-5} \text{ Па}$				
	1	10	20	30	40
260	2,29	2,35	2,39	2,45	2,50
280	2,44	2,49	2,53	2,58	2,63
300	2,59	2,62	2,66	2,71	2,75
320	2,73	-	2,79	-	2,88
350	2,93	-	2,99	-	3,06
400	3,27	-	3,30	-	3,36
450	3,58	-	3,60	-	3,66
500	3,89	-	3,80	-	3,95
550	4,17	-	4,18	-	4,23
600	4,46	-	4,48	-	4,52
650	4,72	-	4,73	-	4,77
700	4,99	-	5,02	-	5,04
800	5,48	-	5,52	-	5,55
900	5,97	-	6,50	-	6,02
1000	6,47	-	6,49	-	6,51
1100	7,00	-	7,02	-	7,04
1200	7,58	-	7,60	-	-
1300	8,10	-	8,12	-	-

Таблица 6

Вязкость азота $\mu \cdot 10^6 \text{ Н·с/м}^2$ при различных температурах и давлениях

T , К	$p \cdot 10^{-5} \text{ Па}$				
	1	10	20	30	40
260	15,97	16,15	16,35	16,57	16,79
280	16,91	17,08	17,26	17,45	17,65
300	17,82	17,97	18,15	18,32	18,50
320	18,70	18,85	19,00	19,16	19,34
350	20,00	20,14	20,28	20,42	20,56
400	22,04	22,16	22,28	22,40	22,53
450	23,96	24,06	24,17	24,28	24,39

Продолжение табл. 6

T, K	$\rho \cdot 10^{-5} Pa$				
	I	IO	20	30	40
500	25,77	25,86	25,96	26,06	26,15
550	27,47	27,56	27,64	27,74	27,82
600	29,08	29,16	29,24	29,32	29,40
650	30,62	30,69	30,77	30,84	30,91
700	32,10	32,17	32,24	32,30	32,37
800	34,91	34,97	35,03	35,09	35,14
900	37,53	37,58	37,63	37,69	37,74
1000	39,99	40,04	40,08	40,13	40,18
1100	42,32	42,36	42,40	42,45	42,49
1200	44,53	44,57	44,61	44,65	44,69
1300	46,62	46,66	46,69	46,73	46,77

Таблица 7

Термофизические свойства газообразного гелия при давлении $10^5 Pa$ в зависимости от температуры

Гелий (He, 2, $A = 4,0026$, $R = 2077,2 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$)
 при давлении $1,013 \cdot 10^5 Pa$ (760 мм рт. ст.)
 $T_{пл} = 1,7333 K$; $\gamma_{пл} \approx 5,715 \text{ кДж/кг}$
 $T_{кип} = 4,23 \pm 0,05 K$; $\gamma_{кип} \approx 19,51 \text{ кДж/кг}$

T, K	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^6, \text{ Пс/м}^2$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr
280	0,1717	5,192	14,5	18,90	110,08	162,65	0,677
300	0,1604	5,192	15,1	19,77	128,25	181,32	0,680
350	0,1375	5,192	16,6	21,88	159,13	232,53	0,684
400	0,1203	5,192	18,4	23,99	199,42	294,59	0,677
450	0,1069	5,192	20,1	25,94	242,66	362,15	0,670
500	0,09626	5,192	21,8	27,88	289,63	436,19	0,664
600	0,08022	5,192	25,0	31,53	393,04	600,24	0,655
700	0,06692	5,192	27,8	34,99	522,86	800,12	0,653
800	0,06021	5,192	30,4	38,32	636,44	972,46	0,654
900	0,05352	5,192	33,0	41,53	775,97	1187,58	0,653
1000	0,04816	5,192	35,4	44,63	926,70	1415,74	0,655
1100	0,04328	5,192	37,9	47,63	1100,51	1686,62	0,652
1200	0,04013	5,192	40,5	50,55	1259,66	1943,80	0,648
1300	0,03707	5,192	43,0	53,40	1440,52	2234,14	0,645

Таблица 8

Термодинамические свойства газообразной двуокиси углерода при давлении 10^5 Па в зависимости от температуры

Двуокись углерода (CO_2 , $M = 44,011$, $R = 189 \text{ Дж/(кг·К)}$)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.)

$$T_{\text{соз}} = 194,65 \text{ К}$$

$$T_{\text{пл}} = 216,55 \text{ К}$$

Продолжение табл. 8

T , К	ρ , 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	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	Pr —	T , К	ρ , 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	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	Pr —
273,15	1,951	0,822	—	13,65	6,10	—	—	2500	0,198	4,24	—	—	—	—	—
280	1,902	0,830	1,52	13,99	7,36	9,63	0,76	2600	0,186	4,94	65,20	81,70	439,3	709,6	0,62
300	1,773	0,851	1,66	14,92	8,42	11,0	0,77	2700	0,174	5,68	—	—	—	—	—
350	1,517	0,900	2,04	17,21	11,34	14,9	0,76	2800	0,163	6,40	89,2	87,90	539,3	855,1	0,63
400	1,326	0,942	2,43	19,39	14,62	19,5	0,75	2900	0,151	7,06	—	—	—	—	—
450	1,178	0,981	2,83	21,49	18,24	24,5	0,74	3000	0,141	7,63	112,2	94,80	672,8	1042,9	0,64
500	1,059	1,02	3,25	23,31	22,01	30,1	0,73	3100	0,131	8,10	—	—	—	—	—
550	0,962	1,05	3,66	25,39	26,39	36,2	0,73	3200	0,121	8,45	131,3	102,0	843,0	1284,2	0,66
600	0,883	1,08	4,07	27,22	30,83	42,7	0,72	3300	0,113	8,68	—	—	—	—	—
650	0,814	1,10	4,45	28,98	35,60	49,7	0,72	3400	0,105	8,79	144,7	109,2	1040,0	1567,8	0,66
700	0,756	1,13	4,81	30,63	40,52	56,3	0,72	3500	0,0976	8,89	—	—	—	—	—
750	0,706	1,15	5,17	32,20	45,61	63,7	0,72	3600	0,0912	8,64	148,3	116,1	1273,0	1882,1	0,68
800	0,661	1,17	5,51	33,76	51,07	71,3	0,72	3700	0,0856	8,29	—	—	—	—	—
850	0,623	1,19	5,85	35,32	56,69	78,9	0,72	3800	0,0806	7,74	136,5	122,2	1516,1	2188,1	0,69
900	0,595	1,20	6,18	36,78	61,82	86,6	0,71	3900	0,0762	7,05	125,0	124,9	1639,1	2326,8	0,70
950	0,557	1,22	6,50	38,14	68,47	95,7	0,72	4000	0,0725	6,24	111,3	127,5	1758,6	2460,2	0,71
1000	0,529	1,23	6,81	40,87	77,26	104,7	0,74								
1100	0,481	1,26	7,44	42,17	87,67	122,8	0,71								
1200	0,441	1,28	7,03	44,63	101,2	142,3	0,71								
1300	0,407	1,30	8,62	47,10	115,7	162,9	0,71								
1400	0,378	1,31	9,21	—	—	186,0	—								
1500	0,353	1,33	—	—	—	—	—								
1600	0,331	1,34	10,90	56,40	170,4	245,8	0,69								
1700	0,311	1,35	—	—	—	—	—								
1800	0,294	1,36	13,60	61,40	208,8	340,1	0,61								
1900	0,277	1,69	—	—	—	—	—								
2000	0,263	1,91	18,90	66,30	252,1	376,3	0,67								
2100	0,249	2,19	—	—	—	—	—								
2200	0,236	2,56	28,50	71,20	301,7	471,7	0,64								
2300	0,223	3,03	—	—	—	—	—								
2400	0,211	3,60	44,00	76,20	361,1	579,3	0,62								

IV. НЕКОТОРЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
 ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ [2]

Таблица 9

Свойства лития

Литий (L_i , z , $A = 6,939$)

при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па

$T_{пл} = 455 \pm 2,5$ К ;
 $T_{кип} = 1623$ К

$\zeta_{пл} = 481 \pm 10$ кДж/кг
 $\zeta_{кип} = 28000$ кДж/кг

T , К	$D \cdot 10^{-5}$, Па	$\rho_{пл}$, кг/м ³	ζ , кДж/кг	$\rho_{жс}$, кг/м ³	$\zeta_{жс}$, кДж/(кг·К)	$\lambda_{жс}$, Вт/(м·К)	$\alpha_{жс} \cdot 10^3$, Н·с/м ²	$\nu_{жс} \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha_{жс} \cdot 10^6$, м ² /с	$D_{жс} \cdot 10^2$
453,7	$1,779 \cdot 10^{-13}$	-	22556	523	4,30	42,8	0,600	1,147	19,03	6,027
500	$8,207 \cdot 10^{-12}$	-	22485	514	4,34	43,7	0,531	1,033	19,59	5,273
600	$4,184 \cdot 10^{-9}$	-	22340	503	4,23	46,1	0,426	0,847	21,67	3,909
700	$3,51 \cdot 10^{-7}$	-	22172	493	4,19	48,4	0,358	0,726	23,43	3,099
800	$9,572 \cdot 10^{-6}$	$1,006 \cdot 10^{-6}$	21989	483	4,17	50,7	0,310	0,642	25,17	2,551
850	$3,723 \cdot 10^{-5}$	$3,695 \cdot 10^{-6}$	21877	478	4,16	-	-	-	-	-
900	$1,242 \cdot 10^{-4}$	$1,169 \cdot 10^{-5}$	21751	473	4,16	52,9	0,275	0,581	26,88	2,161
950	$3,645 \cdot 10^{-4}$	$3,266 \cdot 10^{-5}$	21616	468	4,16	-	-	-	-	-
1000	$9,598 \cdot 10^{-4}$	$8,213 \cdot 10^{-5}$	21471	463	4,16	55,2	0,247	0,533	28,66	1,860
1050	$2,301 \cdot 10^{-3}$	$1,886 \cdot 10^{-4}$	21317	457	4,16	-	-	-	-	-
1100	$5,090 \cdot 10^{-3}$	$4,010 \cdot 10^{-4}$	21156	452	4,15	57,6	0,225	0,498	30,71	1,622
1150	$1,051 \cdot 10^{-2}$	$7,973 \cdot 10^{-4}$	20989	447	4,15	-	-	-	-	-
1200	$2,04 \cdot 10^{-2}$	$1,494 \cdot 10^{-3}$	20818	442	4,14	59,8	0,207	0,468	32,68	1,432

Продолжение табл. 9

T , К	$D \cdot 10^{-5}$, Па	$\rho_{пл}$, кг/м ³	ζ , кДж/кг	$\rho_{жс}$, кг/м ³	$\zeta_{жс}$, кДж/(кг·К)	$\lambda_{жс}$, Вт/(м·К)	$\alpha_{жс} \cdot 10^3$, Н·с/м ²	$\nu_{жс} \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha_{жс} \cdot 10^6$, м ² /с	$D_{жс} \cdot 10^2$
1300	$6,583 \cdot 10^{-2}$	$4,319 \cdot 10^{-3}$	20466	432	4,16	62,1	0,192	0,444	34,56	1,285
1350	0,1108	$7,380 \cdot 10^{-3}$	20288	427	4,17	-	-	-	-	-
1400	0,1794	$1,162 \cdot 10^{-2}$	20110	422	4,19	-	0,180	0,427	-	-
1450	0,2810	$1,771 \cdot 10^{-2}$	19933	416	4,19	-	-	-	-	-
1500	0,4269	$2,620 \cdot 10^{-2}$	19757	411	4,20	-	0,169	0,411	-	-
1550	0,6310	$3,757 \cdot 10^{-2}$	19588	406	4,22	-	-	-	-	-
1600	0,9102	$5,314 \cdot 10^{-2}$	19412	401	4,23	-	0,159	0,396	-	-
1650	1,283	$7,316 \cdot 10^{-2}$	19243	396	4,24	-	-	-	-	-
1700	1,771	$9,870 \cdot 10^{-2}$	19077	391	4,25	-	0,151	0,386	-	-
1750	2,399	0,1308	18916	386	4,26	-	-	-	-	-
1800	3,191	0,1701	18658	381	4,27	-	0,143	0,375	-	-
1850	4,179	0,2181	18603	376	4,28	-	-	-	-	-
1900	5,397	0,2758	18451	371	4,30	-	-	-	-	-
1950	6,871	0,3440	18302	366	4,31	-	-	-	-	-
2000	8,639	0,4240	18133	361	4,32	-	-	-	-	-

Свойства натрия

Натрий (Na, II, A = 22,9898)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $T_{пл} = 371,0 \pm 0,2 \text{ К}$; $\gamma_{пл} = 112 \pm 1 \text{ кДж/кг}$
 $T_{кип} = 1155 \pm 5 \text{ К}$; $\gamma_{кип} = 4845 \pm 5 \text{ кДж/кг}$

T, К	$P \cdot 10^{-5}$, Па	$\rho_{пл}$, кг/м ³	γ , кДж/кг	$\rho_{ж}$, кг/м ³	$c_{рж}$, кДж/(кг·К)	$\lambda_{ж}$, Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^8$, Н·с/м ²	$\nu_{ж} \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha_{ж} \cdot 10^6$, м ² /с	$P\gamma_{ж}$
371	$1,61 \cdot 10^{-10}$	-	4536,7	928	1,89	86,0	0,696	0,75	66,7	0,0112
400	$1,844 \cdot 10^{-9}$	$1,274 \cdot 10^{-9}$	4526,3	921	1,87	84,7	0,608	0,66	67,1	0,0098
450	$5,902 \cdot 10^{-8}$	$3,625 \cdot 10^{-8}$	4503,7	909	1,85	-	-	-	-	-
500	$9,363 \cdot 10^{-7}$	$5,194 \cdot 10^{-7}$	4469,8	897	1,83	80,0	0,424	0,473	67,1	0,00705
550	$8,880 \cdot 10^{-6}$	$4,493 \cdot 10^{-6}$	4438,9	886	1,81	-	-	-	-	-
600	$5,749 \cdot 10^{-5}$	$2,679 \cdot 10^{-5}$	4404,2	874	1,80	75,4	0,328	0,375	66,4	0,00565
650	$2,781 \cdot 10^{-4}$	$1,203 \cdot 10^{-4}$	4366,1	862	1,28	-	-	-	-	-
700	$1,071 \cdot 10^{-3}$	$4,334 \cdot 10^{-4}$	4324,4	850	1,27	70,7	0,269	0,316	65,5	0,00482
750	$3,432 \cdot 10^{-3}$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	4280,3	838	1,26	-	-	-	-	-
800	$9,493 \cdot 10^{-3}$	$3,419 \cdot 10^{-3}$	4233,7	826	1,26	64,9	0,230	0,278	62,4	0,00446
850	$2,328 \cdot 10^{-2}$	$7,968 \cdot 10^{-3}$	4185,6	814	1,26	-	-	-	-	-
900	$5,154 \cdot 10^{-2}$	$1,688 \cdot 10^{-2}$	4136,7	802	1,25	61,4	0,202	0,252	61,2	0,00412
950	0,1049	$3,278 \cdot 10^{-2}$	4087,6	790	1,25	-	-	-	-	-
1000	0,1986	$5,959 \cdot 10^{-2}$	4038,5	779	1,26	56,7	0,181	0,232	57,8	0,00401
1050	0,3535	0,1020	3990,1	767	1,26	-	-	-	-	-
1100	0,5965	0,1660	3941,9	755	1,27	52,1	0,165	0,219	54,3	0,0403
1150	0,9607	0,2624	3896,6	743	1,28	-	-	-	-	-

T, К	$P \cdot 10^{-5}$, Па	$\rho_{пл}$, кг/м ³	γ , кДж/кг	$\rho_{ж}$, кг/м ³	$c_{рж}$, кДж/(кг·К)	$\lambda_{ж}$, Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^8$, Н·с/м ²	$\nu_{ж} \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha_{ж} \cdot 10^6$, м ² /с	$P\gamma_{ж}$
1200	1,504	0,3909	3848,5	731	1,29	-	0,151	0,207	-	-
1250	2,244	0,5652	3803,0	719	1,30	-	-	-	-	-
1300	3,216	0,7844	3761,0	707	1,31	-	0,141	0,199	-	-
1350	4,563	1,081	3715,2	695	1,32	-	-	-	-	-
1400	6,256	1,439	3672,5	683	1,33	-	0,132	0,193	-	-
1450	8,383	1,875	3631,0	671	1,34	-	-	-	-	-
1500	11,014	2,397	3590,4	659	1,35	-	0,124	0,188	-	-
1600	-	-	-	-	-	-	0,118	-	-	-
1700	-	-	-	-	-	-	0,112	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	0,107	-	-	-

Таблица 11

Свойства калия

Калий (K, I9 A = 39,102)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $T_{пл} = 336,8 \pm 0,2 \text{ К}$; $\gamma_{пл} = 60 \pm 0,2 \text{ кДж/кг}$
 $T_{кип} = 1033 \pm 1 \text{ К}$; $\gamma_{кип} = 2076 \pm 8 \text{ кДж/кг}$

T, К	$P \cdot 10^{-5}$, Па	$\rho_{пл}$, кг/м ³	γ , кДж/кг	$\rho_{ж}$, кг/м ³	$c_{рж}$, кДж/(кг·К)	$\lambda_{ж}$, Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^8$, Н·с/м ²	$\nu_{ж} \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha_{ж} \cdot 10^6$, м ² /с	$P\gamma_{ж}$
336,4	$1,37 \cdot 10^{-9}$	-	2233	828	0,822	49,9	0,544	0,657	73,3	0,00896
400	$1,837 \cdot 10^{-7}$	$2,159 \cdot 10^{-7}$	2196,4	814	0,805	48,0	0,413	0,507	73,3	0,00692
450	$3,209 \cdot 10^{-6}$	$3,857 \cdot 10^{-6}$	2180,6	802	0,794	-	-	-	-	-
500	$3,128 \cdot 10^{-5}$	$2,951 \cdot 10^{-5}$	2164,9	790	0,785	45,2	0,301	0,381	72,9	0,00523

T, K	$P \cdot 10^{-5}, Pa$	$\rho_{пл}, кг/м^3$	$\eta, кДж/кг$	$\rho_{ж}, кг/м^3$	$\epsilon_{рж}, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda_{ж}, Вт/(м \cdot K)$	$\mu \cdot 10^3, Н \cdot с/м^2$	$\nu_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$\alpha_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$P_{чж}$
550	$1,992 \cdot 10^{-4}$	$1,714 \cdot 10^{-4}$	2148,1	778	0,777	-	-	-	-	-
600	$9,258 \cdot 10^{-4}$	$7,333 \cdot 10^{-4}$	2129,8	767	0,771	42,8	0,238	0,31	71,5	0,00434
650	$3,38 \cdot 10^{-3}$	$2,485 \cdot 10^{-3}$	2110,0	755	0,766	-	-	-	-	-
700	$1,022 \cdot 10^{-2}$	$7,026 \cdot 10^{-3}$	2088,6	743	0,762	39,4	0,198	0,266	69,6	0,00382
750	$2,658 \cdot 10^{-2}$	$1,719 \cdot 10^{-2}$	2066,1	731	0,761	-	-	-	-	-
800	$6,116 \cdot 10^{-2}$	$3,739 \cdot 10^{-2}$	2042,6	720	0,761	36,5	0,171	0,238	66,6	0,00357
850	0,1274	$7,397 \cdot 10^{-2}$	2018,3	708	0,762	-	-	-	-	-
900	0,2441	0,1351	1993,4	696	0,769	33,6	0,151	0,217	62,8	0,00346
950	0,4357	0,2306	1968,2	684	0,780	-	-	-	-	-
1000	0,7322	0,3716	1942,3	672	0,792	30,7	0,135	0,201	57,7	0,00348
1050	1,217	0,5933	1916,1	659	0,805	-	-	-	-	-
1100	1,864	0,8751	1890,0	647	0,819	27,8	0,123	0,19	52,5	0,00362
1150	2,745	1,244	1863,3	635	0,832	-	-	-	-	-
1200	3,913	1,611	1836,9	623	0,846	-	0,114	0,183	-	-
1250	5,415	2,282	1810,3	612	0,859	-	-	-	-	-
1300	7,304	2,985	1783,6	598	0,873	-	0,105	0,176	-	-
1350	9,628	3,812	1757,3	586	0,886	-	-	-	-	-
1400	12,44	4,932	1730,8	574	0,899	-	0,0984	0,171	-	-
1500	-	-	-	-	-	-	0,0926	-	-	-
1600	-	-	-	-	-	-	0,0875	-	-	-
1700	-	-	-	-	-	-	0,0830	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	0,0791	-	-	-

Свойства ртути

Таблица 12

Ртуть (Hg , 80, $A = 200,59$)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 Pa$ $T_{пл} = 234 \pm 0,03 K$; $\nu_{пл} = 11,93 \pm 0,12 кДж/кг$
 $T_{кип} = 630,12 \pm 0,2 K$; $\nu_{кип} = 293,076 \pm 2,093 кДж/кг$

T, K	$P \cdot 10^{-5}, Pa$	$\rho_{пл}, кг/м^3$	$\eta, кДж/кг$	$\rho_{ж}, кг/м^3$	$\epsilon_{рж}, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda_{ж}, Вт/(м \cdot K)$	$\mu \cdot 10^3, Н \cdot с/м^2$	$\nu_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$\alpha_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$P_{чж}$
273	$2,728 \cdot 10^{-7}$	$0,241 \cdot 10^{-5}$	306,817	13595,03	0,1404	8,178	1,687	0,124	4,28	0,02897
293	$1,729 \cdot 10^{-6}$	$0,142 \cdot 10^{-4}$	306,090	13545,83	0,1396	8,447	1,556	0,115	4,47	0,02579
313	$8,626 \cdot 10^{-6}$	$0,664 \cdot 10^{-4}$	305,377	13496,89	0,1389	8,712	1,457	0,108	4,65	0,02324
333	$3,536 \cdot 10^{-5}$	$0,256 \cdot 10^{-3}$	304,678	13448,19	0,1382	8,971	1,372	0,102	4,83	0,02114
353	$1,232 \cdot 10^{-4}$	$0,842 \cdot 10^{-3}$	303,993	13399,71	0,1376	9,225	1,301	0,097	5,00	0,01941
373	$3,745 \cdot 10^{-4}$	$0,242 \cdot 10^{-2}$	303,317	13351,42	0,1371	9,475	1,241	0,093	5,18	0,01796
393	$1,015 \cdot 10^{-3}$	$0,59 \cdot 10^{-2}$	302,652	13303,3	0,1367	9,719	1,189	0,089	5,34	0,01672
413	$2,491 \cdot 10^{-3}$	$0,145 \cdot 10^{-1}$	301,994	13255,31	0,1363	9,958	1,144	0,086	5,51	0,01565
433	$5,618 \cdot 10^{-3}$	$0,313 \cdot 10^{-1}$	301,344	13207,45	0,1360	10,19	1,104	0,084	5,67	0,01473
453	$1,178 \cdot 10^{-2}$	$0,627 \cdot 10^{-1}$	300,697	13159,68	0,1357	10,42	1,070	0,081	5,84	0,01393
473	$2,315 \cdot 10^{-2}$	0,118	300,056	13111,97	0,1355	10,64	1,039	0,079	5,99	0,01323
493	$4,304 \cdot 10^{-2}$	0,211	299,415	13064,81	0,1353	-	-	-	-	-
513	$7,614 \cdot 10^{-2}$	0,358	298,773	13016,65	0,1352	-	-	-	-	-
528	$9,959 \cdot 10^{-2}$	0,46	298,452	12992,82	0,1352	11,18	0,975	0,075	6,85	0,0179
533	0,12892	0,584	298,129	12968,98	0,1352	-	-	-	-	-
553	0,20993	0,916	297,480	12921,27	0,1352	-	-	-	-	-
573	0,33015	1,391	296,824	12873,5	0,1353	11,69	0,926	0,072	6,71	0,0107
593	0,5032	2,05	296,156	12825,6	0,1354	-	-	-	-	-

T, K	$P \cdot 10^{-5}, Pa$	$\rho_{пл}, кг/м^3$	$\zeta, кДж/кг$	$\rho_{ж}, кг/м^3$	$\sigma_{рж}, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda_{ж}, Вт/(м \cdot K)$	$\alpha_{ж} \cdot 10^3, н \cdot с/м^2$	$\nu \cdot 10^6, м^2/с$	$\alpha_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$P_{сж}$
618	0,74567	2,94	295,474	12777,6	0,1856	-	-	-	-	-
628	0,89896	3,489	295,128	12758,6	0,1857	12,16	0,886	0,069	7,08	0,0099
638	1,0772	4,117	294,776	12729,4	0,1858	-	-	-	-	-
658	1,5207	5,639	294,057	12681,1	0,1861	-	-	-	-	-
678	2,1024	7,572	293,814	12632,6	0,1864	12,6	0,858	0,068	7,81	0,00920
698	2,852	9,986	292,544	12583,8	0,1868	-	-	-	-	-
718	3,801	12,955	291,748	12534,8	0,1873	-	-	-	-	-
728	4,362	14,674	291,830	12510,1	0,1875	19,01	0,826	0,066	7,56	0,0087
738	4,986	16,559	290,908	12485,4	0,1878	-	-	-	-	-
758	6,446	20,881	290,032	12435,8	0,1883	-	-	-	-	-
778	8,222	26,001	289,116	12386,0	0,1889	13,39	0,804	0,065	7,78	0,00830
798	10,358	32,01	288,158	12336	0,1896	-	-	-	-	-
818	12,901	38,986	287,140	12285	0,1408	-	-	-	-	-
828	14,340	42,863	286,614	12259	0,1407	19,73	0,784	0,064	7,96	0,0080
838	15,899	47,037	286,074	12234	0,1410	-	-	-	-	-
858	19,408	56,227	284,952	12182	0,1418	-	-	-	-	-
878	23,46	66,667	283,769	12130	0,1427	14,04	0,767	0,063	8,11	0,0078
898	28,14	78,444	282,524	12078	0,1436	-	-	-	-	-
918	33,47	91,651	281,210	12025	0,1446	-	-	-	-	-
928	-	98,814	280,529	-	0,1451	14,33	0,752	0,063	8,28	0,0076
938	39,58	106,372	279,829	11972	0,1456	-	-	-	-	-
958	46,36	122,699	278,375	11918	0,1466	-	-	-	-	-

T, K	$P \cdot 10^{-5}, Pa$	$\rho_{пл}, кг/м^3$	$\zeta, кДж/кг$	$\rho_{ж}, кг/м^3$	$\sigma_{рж}, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda_{ж}, Вт/(м \cdot K)$	$\alpha_{ж} \cdot 10^3, н \cdot с/м^2$	$\nu \cdot 10^6, м^2/с$	$\alpha_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$P_{сж}$
978	54,03	140,746	276,845	11863	0,1478	14,58	0,739	0,062	8,82	0,0075
998	62,59	160,565	275,238	11809	0,1489	-	-	-	-	-
1018	72,10	182,249	273,550	11753	0,1501	-	-	-	-	-
1028	-	198,836	275,675	-	0,1507	14,79	0,728	0,062	8,37	0,0074
1038	82,60	205,981	271,780	11697	0,1514	-	-	-	-	-
1058	94,17	231,642	269,927	11641	0,1527	-	-	-	-	-
1078	105,85	259,471	267,986	11584	0,1540	14,98	0,717	0,062	8,4	0,0074

Свойства цезия

Таблица 13

Цезий (Cs, 55, A = 132,905)

при давлении 1,013 Па $T_{пл} = 301,5 \pm 0,4 K$; $\zeta_{пл} = 15,9 \pm 0,8 кДж/кг$
 $T_{кип} = 970 \pm 10 K$; $\zeta_{кип} = 603 \pm 21 кДж/кг$

T, K	$P \cdot 10^{-5}, Pa$	$\rho_{пл}, кг/м^3$	$\zeta, кДж/кг$	$\rho_{ж}, кг/м^3$	$\sigma_{рж}, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda_{ж}, Вт/(м \cdot K)$	$\alpha_{ж} \cdot 10^3, н \cdot с/м^2$	$\nu \cdot 10^6, м^2/с$	$\alpha_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$P_{сж}$
301,6	2,661 · 10 ⁻⁹	-	568	1837	0,245	19,0	0,697	0,879	42,22	0,00898
400	3,825 · 10 ⁻⁶	1,529 · 10 ⁻⁵	558,4	1781	0,240	19,3	0,425	0,239	45,15	0,00529
450	4,435 · 10 ⁻⁵	1,579 · 10 ⁻⁴	548,8	1753	0,236	-	-	-	-	-
500	3,11 · 10 ⁻⁴	9,991 · 10 ⁻⁴	544,0	1724	0,232	19,5	0,818	0,184	48,75	0,00877
550	1,517 · 10 ⁻³	4,448 · 10 ⁻³	538,9	1695	0,228	-	-	-	-	-
600	5,646 · 10 ⁻³	1,526 · 10 ⁻²	533,4	1667	0,224	19,4	0,254	0,152	51,95	0,00298
650	1,708 · 10 ⁻²	4,292 · 10 ⁻²	527,8	1638	0,221	-	-	-	-	-

82

T, K	$P \cdot 10^{-5}, Pa$	$\rho_{пл}, кг/м^3$	$\epsilon, кДж/кг$	$\rho_{ж}, кг/м^3$	$c_{рж}, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda_{ж}, Вт/(м \cdot K)$	$\alpha_{ж} \cdot 10^3, Н \cdot с/м^2$	$\nu \cdot 10^6, м^2/с$	$\alpha_{ж} \cdot 10^6, м^2/с$	$Pr_{ж} -$
700	$4,395 \cdot 10^{-2}$	0,1034	521,9	1609	0,219	19,2	0,215	0,194	54,49	0,00246
750	$9,954 \cdot 10^{-2}$	0,2204	515,8	1580	0,217	-	-	-	-	-
800	0,2059	0,4250	509,6	1552	0,217	18,5	0,186	0,120	54,93	0,00219
850	0,3798	0,7562	503,2	1524	0,219	-	-	-	-	-
900	0,6622	1,257	496,7	1495	0,222	17,7	0,171	0,114	58,83	0,00214
950	1,086	1,972	490,0	1467	0,226	-	-	-	-	-
1000	1,693	2,985	483,1	1438	0,231	16,5	0,151	0,105	49,67	0,00211
1050	2,527	4,283	476,2	1408	0,235	-	-	-	-	-
1100	3,629	5,922	469,2	1378	0,239	15,2	0,142	0,103	46,15	0,00228
1150	5,038	7,924	462,2	1345	0,243	-	-	-	-	-
1200	6,790	10,31	455,1	1311	0,248	13,5	0,132	0,101	41,52	0,00243
1250	8,889	13,03	448,1	1277	0,252	-	-	-	-	-
1300	11,41	16,18	440,9	1244	0,256	11,7	0,124	0,10	36,74	0,00272
1400	-	-	-	-	-	9,4	0,117	-	-	-

Висмут ($Bi, 83, A = 208,980$)
 при давлении $1,013 \cdot 10^5 Pa$ (760 мм. рт. ст.)
 $T_{пл} = 544 \pm 0,3 K, \epsilon_{пл} = 50 \pm 2 кДж/кг$
 $T_{кип} = 1700 \pm 30 K, \epsilon_{кип} = 856 \pm 2 кДж/кг$

81

T, K	ρ_s, Pa	$\rho, кг/м^3$	$c_p, кДж/(кг \cdot K)$	$\lambda, Вт/(м \cdot K)$	$\mu \cdot 10^5, Н \cdot с/м^2$	$\alpha \cdot 10^6, м^2/с$	$\nu \cdot 10^6, м^2/с$	$Pr \cdot 10^2$
544,52	-	10058	0,1507	14,42	1,860	9,528	0,185	1,94
600	6,708	9998	0,1507	14,89	1,610	9,889	0,161	1,63
650	9,474	9936	0,1507	15,35	1,461	10,25	0,147	1,43
700	12,347	9877	0,1507	15,82	1,343	10,61	0,136	1,28
750	15,387	9815	0,1507	16,28	1,227	11,00	0,125	1,14
800	18,476	9761	0,1507	16,75	1,142	11,39	0,117	1,03
850	21,801	9687	0,1507	17,21	1,075	11,78	0,111	0,94
900	26,096	9625	0,1507	17,56	1,011	12,11	0,105	0,87
950	28,940	9560	0,1507	18,03	0,956	12,50	0,100	0,80
1000	32,098	9497	0,1507	18,49	0,921	12,92	0,097	0,74

Таблица 15
Свойства некоторых жаростойких и жаропрочных сталей

Марка стали по ГОСТу	T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Применение
X18H9T	200	7906	0,500	18,5	8,4	Оболочки ТВЭЛ, оильфоны, конструкционные детали активной зоны реакторов при температурах менее 773 К $T_{пл} \approx 1720 \text{ К}$
	300	7900	0,505	14,5	8,6	
	400	7895	0,520	16,5	4,0	
	500	7888	0,535	17,5	4,1	
	600	7878	0,550	18,5	4,3	
	700	7872	0,575	20,0	4,4	
	800	7866	0,600	21,5	4,6	
	900	7860	0,615	23,0	4,8	
	1000	7860	0,630	25,0	5,0	
	1200	7848	0,660	25,8	5,0	
1400	7836	0,690	28,0	5,1		
OX18H12B	200	7918	0,500	18,6	8,4	Трубопроводы, листовые детали реакторов, деталей теплообменников для работы до 825 К $T_{пл} \approx 1724 \text{ К}$
	300	7900	0,505	14,6	8,6	
	400	7887	0,520	16,6	4,0	
	500	7874	0,535	17,6	4,2	
	600	7861	0,554	18,6	4,3	
	700	7849	0,575	20,2	4,5	
	800	7836	0,590	21,7	4,7	
	900	7823	0,610	23,3	4,9	
	1000	7810	0,623	23,3	4,8	
	1200	7797	0,660	26,0	5,1	
1400	7784	0,700	-	-		
X23H18	200	7915	0,480	18,5	8,6	Жаровые трубы в огневых пароперегревателях, детали камер сгорания газовых турбин, лопатки турбин для работы до 1173 К $T_{пл} \approx 1690 \text{ К}$
	300	7900	0,495	14,0	8,5	
	400	7885	0,499	14,3	8,6	
	500	7870	0,500	14,7	8,7	
	600	7855	0,520	15,0	8,7	
	700	7840	0,550	15,4	8,6	
	800	7825	0,562	15,9	8,6	
	900	7810	0,580	16,2	8,6	

Марка стали по ГОСТу	T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Применение
X23H18	1000	7795	0,602	16,7	8,5	
	1200	7780	0,650	17,4	8,4	
	1400	7765	0,675	18,1	8,5	
X16H25M6	200	8111	0,480	12,7	8,3	Листы и трубы для высокотемпературных деталей реактора. Напряженные детали газовых турбин. Длительная служба при температурах до 928 К $T_{пл} \approx 1650 \text{ К}$
	300	8100	0,490	12,9	8,2	
	400	8089	0,500	13,2	8,3	
	500	8077	0,512	13,6	8,3	
	600	8066	0,525	14,2	8,4	
	700	8054	0,540	14,9	8,4	
	800	8043	0,560	16,0	8,6	
	900	8031	0,578	16,9	8,6	
	1000	8020	0,600	17,8	8,6	
	1200	8009	0,640	18,7	8,6	
1400	7997	0,660	19,3	8,7		
XH35BT, XH35BTP, XH35BMT	200	8203	0,490	13,2	8,3	Листы и трубы для высокотемпературных деталей реактора и органов управления, напряженные детали газовых турбин. Длительная служба при температурах до 970 К $T_{пл} \approx 1610 \text{ К}$
	300	8200	0,495	13,6	8,3	
	400	8197	0,505	14,0	8,4	
	500	8194	0,517	14,4	8,4	
	600	8191	0,530	14,8	8,4	
	700	8189	0,543	15,2	8,4	
	800	8186	0,555	16,6	8,7	
	900	8183	0,564	17,0	8,7	
	1000	8180	0,570	17,4	8,7	
	1200	8177	0,580	18,2	8,8	
1400	8174	0,585	19,0	4,0		

Примечание. Температуры начала плавления вычислены по приближенной формуле

$$T_{пл} = 1810 - (73C + 12Si + 3Mn + 1Cr + 3,5Ni + 18Ti + 1W + 3Mo),$$

где 1810 - температура плавления железа;

$C, Si, Mn, Cr, Ni, Ti, W, Mo$ - процентное содержание примесей.

Таблица 16

Свойства некоторых жаростойких и жаропрочных сплавов на хромоникелевой основе

Марка сплава	T, K	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\alpha \cdot 10^6$	Применение
ХН80ТБ0	200	-	-	11	3,2	Детали активной зоны реактора в виде труб, чехлов, проволоки со сроком службы до 10000 ч при температурах до 973K
	300	8300	0,458	12		
	400	-	-	14		
	500	-	-	16		
	600	-	-	18		
	700	-	-	19		
	800	-	-	21		
	900	-	-	23		
	1000	8250	-	25		
	1200	-	-	26		
1400	-	-	27	$T_{пл} \approx 1395$		
ХН70ВМ0Т	200	-	-	7	2,0	Детали различных нагревателей для работы более 10000 ч при температурах до 1023K, для меньших времен 1273K
	300	8600	0,455	8		
	400	-	-	10		
	500	-	-	12		
	600	-	-	14		
	700	-	-	16		
	800	-	-	18		
	900	-	-	20		
	1000	8560	-	22		
	1200	-	-	23		
1400	-	-	24			

Значения температур плавления даны по аналогии с известными американскими сплавами типа инконель для сплава ХН80ТБ0 и хастеллой для сплава ХН70ВМ0Т и соответствуют началу плавления [6].

Таблица 17

Теплофизические свойства ниобия чистотой 99,95 %

Ниобий (Nb , $41, A = 92,906$)
 при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.)
 $T_{пл} = 2750 \pm 25 K$; $\alpha_{пл} = 289 \text{ кДж/кг}$
 $T_{кип} = 5000 K$; $\alpha_{кип} = 7520 \text{ кДж/кг}$

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	
			λ_0	λ_{∞}
100	-	0,254	49	-
200	-	0,259	50	-
300	8,57	0,265	53	-
400	-	0,270	55	50
600	-	0,281	59	49
800	8,55	0,293	64	48
1000	-	0,304	67	47
1200	8,54	0,316	70	47
1500	-	0,333	76	46
1800	8,52	0,350	83	46
2100	-	0,368	91	45
2400	-	0,385	98	45
2700	8,49	0,425	102	45

Тепловое старение наблюдается при температурах от 473K; λ_{∞} - теплопроводность охрупченного ниобия за 1000 ч при 1173K в вакууме 10^{-3} мм $0,1333 \text{ Па}$.
 Допуск: $\rho \pm 20 \text{ кг/м}^3$; $c_p \pm 0,0005 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$; $\lambda (-5) \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	C _p , кДж/(кг·K)	λ_0	λ_{∞}
			Вт/(м·K)	
100	-	0,240	205	-
200	-	0,246	169	-
300	10,20	0,252	162	102
400	-	0,257	159	100
600	-	0,263	158	95
800	10,19	0,267	158	90
1000	-	0,274	158	88
1200	10,18	0,280	159	85
1500	-	0,286	114	82
1800	10,15	0,320	111	80
2100	-	0,396	113	79
2400	-	0,460	100	78
2700	10,10	0,462	82	78

Допуск: $\rho \pm 20 \text{ кг/м}^3$; $C_p \pm 0,003 \text{ кДж/(кг·K)}$; $\lambda \pm 8 \text{ Вт/(м·K)}$;
 λ_{∞} - теплопроводность молибдена, охрупченного при 1373K за
 время 1100 ч в вакууме 0,1333 Па

Таблица 19

Теплофизические свойства тантала чистотой 99,98%

Тантал (Ta, 73, A = 180,948)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.)

$T_{пл} = 3260 \pm 40 \text{ K}$; $\gamma_{пл} = 174 \text{ кДж/кг}$
 $T_{кмп} = 5800 \pm 500 \text{ K}$; $\gamma_{кмп} = 4170 \text{ кДж/кг}$

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	C _p , кДж/(кг·K)	λ_0	λ_{∞}
			Вт/(м·K)	
100	-	0,136	63	-
200	-	0,137	63	-
300	16,60	0,139	63	48
400	-	0,141	63	49
600	-	0,145	65	50
800	16,57	0,148	68	52
1000	-	0,152	71	53

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	C _p , кДж/(кг·K)	λ_0	λ_{∞}
			Вт/(м·K)	
1200	16,54	0,156	74	56
1500	-	0,163	80	56
1800	16,51	0,169	86	-
2100	-	0,178	92	-
2400	-	0,188	97	-
2700	16,44	0,200	100	-

Допуск: $\rho \pm 20 \text{ кг/м}^3$; $C_p \pm 0,002 \text{ кДж/(кг·K)}$; $\lambda \pm 8 \text{ Вт/(м·K)}$;
 λ_0 - теплопроводность кованого тантала; λ_{∞} - теплопроводность
 тантала после гермостатирования при 1373K за время 1100 ч в
 вакууме 0,1333 Па.

Таблица 20

Теплофизические свойства вольфрама чистотой 99,92%

Вольфрам (W, 74, A = 183,85)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.)

$T_{пл} = 3660 \pm 60 \text{ K}$; $\gamma_{пл} = 184,8 \text{ кДж/кг}$

$T_{кмп} = 6200 \pm 300 \text{ K}$; $\gamma_{кмп} = 4960 \text{ кДж/кг}$

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	C _p , кДж/(кг·K)	λ_0	λ_{∞}
			Вт/(м·K)	
100	-	0,1305	132	-
200	-	0,1326	131	-
300	19,25	0,1344	130	-
400	-	0,1364	128	-
600	-	0,1404	126	115
800	19,31	0,1442	122	113
1000	-	0,1480	118	110
1200	19,29	0,1520	115	108
1500	-	0,1576	110	104
1800	19,26	0,1636	106	101
2100	-	0,1694	101	97
2400	-	0,1754	97	96
2700	19,18	0,1860	92	92

Допуск: $\rho \pm 100 \text{ кг/м}^3$; $C_p \pm 0,0005 \text{ кДж/(кг·K)}$; $\lambda (-8) \text{ Вт/(м·K)}$;
 λ_{∞} - теплопроводность вольфрама, охрупченного при 1800K за
 1000 ч в вакууме 0,1333 Па.

Термофизические свойства ванадия

Ванадий (V, 23, A = 50,9 2)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.) $T_{пл} = 2170 \pm 25 \text{ К}; \epsilon_{пл} \approx 335 \text{ кДж/кг}$ $T_{кип} = 3170 \pm 100 \text{ К}; \epsilon_{исп} \approx 9000 \text{ кДж/кг}$

T, К	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Ср., кДж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)
100	-	0,480	32,1
123	-	0,485	32,2
223	-	0,500	32,8
298	6,11	0,502	33,2
373	-	0,523	33,7
473	-	0,540	34,4
573	-	0,560	34,9
673	-	0,563	35,7
773	6,10	0,590	36,4
873	-	0,607	37,2
973	-	0,620	37,9
1073	-	0,630	38,7
1173	-	0,650	39,5
1273	6,09	0,670	40,4
1373	-	0,700	41,3
1473	2	0,720	42,3
1573	-	0,755	43,3
1673	-	0,780	44,4
1773	6,07	0,816	45,6

Термофизические свойства титана

Титан (Ti, 22, A = 47,90)

при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.) $T_{пл} = 2000 \pm 20 \text{ К}; \epsilon_{пл} \approx 470 \text{ кДж/кг}$ $T_{кип} = 3800 \pm 100 \text{ К}; \epsilon_{исп} \approx 9800 \text{ кДж/кг}$

T, К	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Ср., кДж/(кг·К)	λ, Вт/(м·К)
100	-	0,548	15,1
123	-	0,547	15,1
223	-	0,555	15,3
298	4,5 (α)	0,562	15,5
373	-	0,569	15,8
423	-	0,573	16,0
473	-	0,578	16,3
523	-	0,582	16,6
573	-	0,586	16,9
623	-	0,590	17,2
673	-	0,594	17,4
723	-	0,598	17,8
773	-	0,602	18,0
823	-	0,606	18,4
873	-	0,609	18,7
923	-	0,612	19,1
973	-	0,615	19,4
1023	-	0,617	-
1073	-	0,620	-
1123	-	0,622	-
1173	4,32 (β)	0,624	-
1223	-	0,627	-
1273	-	0,628	-
1323	-	0,631	-
1373	-	0,632	-
1423	-	0,63	-
1473	-	0,636	-

Алюминиевые сплавы

Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$ кг/м³, теплопроводность λ Вт/м·К, теплоемкость c_p кДж/(кг·К) некоторых алюминиевых сплавов

Сплав	При температуре T, K												
	298		373		473		573		673				
	$\rho \cdot 10^{-3}$ при 298 К	λ	c_p	λ	c_p	λ	c_p	λ	c_p	λ	c_p	λ	c_p
АМ ₄	2,73	180,041	1,089	180,041	1,172	180,041	1,005	184,228	1,298	188,415	1,298	188,415	1,298
АМ ₁	2,70	184,228	0,921	192,602	1,005	192,602	1,005	188,415	1,047	188,415	1,047	188,415	1,089
АМ ₂	2,68	154,919	0,968	159,106	1,005	168,298	1,005	163,298	1,047	167,480	1,047	167,480	1,089
Д-1	2,80	117,286	0,921	129,797	0,968	150,782	0,968	171,667	1,005	175,854	1,005	175,854	1,047
Д-16	2,78	117,286	0,921	129,797	1,047	146,545	1,047	163,298	1,130	-	1,130	-	1,172
													(623 К)

Медь и ее сплавы

Таблица 24

Теплофизические свойства меди

Медь, Cu, 29, A = 63,546
 при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па (760 мм. рт. ст.)
 $T_{пл} = 1356 \pm 3$ К; $\chi_{пл} = 213 \pm 4$ кДж/кг
 $T_{кип} = 2860 \pm 30$ К; $\chi_{кип} = 4800 \pm 100$ кДж/кг

T, K	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	c_p , кДж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)
83	9,00	0,259	480
293	8,93	0,381	395
373	8,90	0,399	392
573	8,84	0,422	373
873	8,70	0,456	344
1173	8,62	0,482	321
1356	8,51	0,533	-
1473	8,32	-	-

Таблица 25
 Теплопроводность при различных температурах
 некоторых технических сплавов меди (латуни и бронзы)
 и их температуры плавления

Сплав	$T_{пл}, K$	$\lambda, Вт/(м·К)$ при температуре, К						
		300	400	500	600	700	800	900
Медь чистой 99,8% (ГОСТ 1019-47)	1356	386	379	373	378	364	359	354
ЛТ-96 - томпак волооченый	1343	244	245	246	250	255	260	-
РТ-90 - томпак прокатный	1318	114	126	142	157	174	288	204

Сплав	Т _{пл} К	λ, Вт/(м·К) при температуре, К						
		300	400	500	600	700	800	900
Л-68-латунь	1211	106	109	110	114	116	120	121
Л-62-латунь	1178	106	120	137	152	169	186	200
Бр. А-5 (ГОСТ 493-41)	1348	105	114	124	133	141	148	153
Бр. А-7 (ГОСТ 493-41)	1323	97	105	114	122	129	135	141

Теплопроводность графитов с различной плотностью при температуре 293 К и направлении теплового потока вдоль главной оси кристаллов

Графит (С', 6, А = 12,01115)

$\rho \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3$	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75
λ, Вт/(м·К)	75-79	91-94	102-106	119-120	130-135	146	188	234

Таблица 27

Теплопроводность графитов с плотностью 1650-1720 кг/м³ в зависимости от температуры

Т, К	λ _{II} , Вт/(м·К)	λ _I , Вт/(м·К)	λ _{II} : λ _I
293	151 - 205	99 - 130	1,5
473	116 - 137	71 - 102	1,5
873	79 - 101	47 - 75	1,5
1173	58 - 84	37 - 58	1,5
1473	50 - 71	30 - 50	1,5
1773	42 - 63	26 - 42	1,5
2073	-	13 - 37	-

Таблица 28

Теплопроводность реакторного графита плотностью 1700 кг/м³ в зависимости от температуры

Т, К	λ, Вт/(м·К)		Т, К	λ, Вт/(м·К)	
	параллельно прессованию	перпендикулярно прессованию		параллельно прессованию	перпендикулярно прессованию
100	210	160	1000	67	54
200	190	145	1100	61	51
300	170	130	1200	58	49

T, K	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$		T, K	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	
	параллельно прессованно	перпендикулярно прессованно		параллельно прессованно	перпендикулярно прессованно
400	150	115	1300	56	47
500	120	100	1400	54	45
600	110	88	1500	53	43
700	100	75	1600	52	41
800	80	65	1700	51	40
900	70	57			

Таблица 29

Теплоемкость, энтропия и энтальпия графита

T, K	$c_p \cdot 10^3, \text{кДж/(моль}\cdot\text{К)}$	$I_0 - I_{273} \cdot 10^3, \text{кДж/моль}$	$S_0 - S_{273} \cdot 10^3, \text{кДж/(моль}\cdot\text{К)}$
800	8,65	1053	5,70
400	11,94	2104	8,71
500	14,80	3000	11,70
600	16,87	5016	14,54
700	18,40	6900	17,30
800	15,70	8716	19,85
900	20,65	10800	22,35
1000	21,52	12878	24,48
1100	22,20	15500	26,60
1200	22,69	17291	28,50
1300	23,30	19650	30,40
1400	23,74	21947	32,10

Теплоемкость графита в зависимости от температуры

T, K	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	T, K	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$
200	0,42	1200	1,90
300	0,72	1300	1,94
400	1,00	1400	1,98
500	1,23	1500	2,02
600	1,39	1600	2,04
700	1,51	1700	2,06
800	1,63	1800	2,08
900	1,71	1900	2,09
1000	1,79	2000	2,10
1100	1,86		

Таблица 31

Коэффициент теплопроводности карбида бериллия
плотностью 2200 кг/м³ в атмосфере аргона

λ Вт/(м·К)	300	500	700	900
	32	25	21	18

Таблица 32
Теплофизические свойства карбида циркония

T , К	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	C_p , кДж/(кг·К)	λ_0 , Вт/(м·К)
200	6,7	0,409	26
300	6,6	0,456	20
400	6,5	0,461	18

Таблица 33

Теплоемкость карбида циркония в зависимости от температуры

T , К	C_p , кДж/(кг·К)	T , К	C_p , кДж/(кг·К)
300	0,458	1900	0,538
700	0,466	2100	0,549
900	0,482	2300	0,559
1100	0,496	2500	0,568
1300	0,507	2700	0,578
1500	0,518	3000	0,593
1700	0,528		

Таблица 34

Температура плавления сплавов карбидов циркония и тантала

Состав сплава (масса, %)	$T_{пл}$, К	Состав сплава (масса, %)	$T_{пл}$, К
100ZrC	3800	108ZrC - 90TaC	4180
30ZrC - 70TaC	3970	5ZrC - 95TaC	4020
20ZrC - 80TaC	4150	100TaC	4000

Таблица 35

Теплоемкость, кДж/(кг·К), сплавов карбидов циркония и ниобия в зависимости от температуры и состава (масса, %)

T , К	10NbC - 90ZrC	20NbC - 80ZrC	40NbC - 60ZrC	60NbC - 40ZrC	80NbC - 20ZrC
1000	0,4882	0,4878	0,4853	0,4832	0,4811
1800	0,5062	0,5049	0,5033	0,5012	0,4995
1600	0,5225	0,5217	0,5200	0,5183	0,5167
1900	0,5380	0,5372	0,5359	0,5347	0,5334
2200	0,5531	0,5527	0,5518	0,5510	0,5501
2500	0,5681	0,5677	0,5673	0,5668	0,5669
2800	0,5828	0,5828	0,5832	0,5832	0,5832
3100	0,5979	0,5979	0,5987	0,5991	0,5995

Таблица 36

Теплоемкость карбида ниобия в зависимости от температуры

T , К	C_p , кДж/(кг·К)	T , К	C_p , кДж/(кг·К)
300	0,3559	2200	0,5493
1000	0,4790	2400	0,5606
1200	0,4915	2600	0,5719
1400	0,5032	2800	0,5832
1600	0,5150	3000	0,5945
1800	0,5262	3200	0,6058
2000	0,5380	-	-

Таблица 37

Теплофизические свойства при комнатной температуре
опрессованных и спеченных карбидов в исходном
состоянии

Карбид	Содержание углерода, атом. %	$T_{пл}$, К	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	C_p , кДж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)
NbC	11,41	3800	7,82	0,356	14(400К) 44(1200- 2500К)

Карбид	Содержание углерода, % атом.	$T_{пл}, K$	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/кг}^\circ\text{К}$	$\lambda, \text{Вт/м}^\circ\text{К}$
Nb_2C	6,07	3200	7,85	0,316	19(400K)
Ta_2C	6,23	4100	14,50	0,188	22
Ta_2C	3,21	3800	15,50	0,162	36
Mo_2C	11,13	3000	8,88	0,294	-
Mo_2C	5,91	2700	9,18	0,267	7
VC	19,08	3100	5,48	0,581	25
V_2C	10,54	2900	5,75	0,370	30
WC	6,12	2800	15,65	0,184	29
WC	3,16	3000	17,30	0,143	36
Ni_2C	6,3	4200	12,67	0,402	6,5(400K)
Co_2C	13,33	2200	6,68	0,546	13
Co_2C	9,0	2000	6,90	0,523	-
Co_2C	5,33	1790	6,80	0,493	-

УШ. СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 38

Краткая характеристика некоторых распространенных изоляционных материалов

Теплоизоляционный материал	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Коэффициент теплопроводности, Вт/(мК)	Предельная температура, $^\circ\text{K}$	Состав и структура теплоизоляционного материала
Асбест	200 - 2500	при $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ $0,107 + 0,00019 t$ при $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ $0,14 + 0,00019 t$	973	Один из наиболее высококачественных теплоизоляционных материалов. Добывает в виде тонких волокон (горный лен). Самый низкий сорт - 7 - й.
Асбогермит	570 - 600	$0,122 + 0,000151 t$	573	Смесь порошков диатомита или трепела (15 - 20 %), асбеста 4-го сорта (10 - 15 %) и асбошиферных отходов (70 % по массе).
Асбослюда	580 - 650	$0,134 + 0,000151 t$	1073	Смесь порошков диатомита или трепела (60 %), асбеста 4-го сорта (10 - 12 %), асбошиферных отходов (20 %) и слюдяной чешуйки (8 - 10 % по массе).
Асбозонолит	500 - 600	$0,143 \pm 0,000186 t$	673	Смесь порошков диатомита или трепела (70 %), асбеста 4-го сорта (15 %) и обожженного вермикулита (15 % по массе), плотность в порошке 400 кг/м^3 отформованного изделия 600 кг/м^3 .

Теплоизоляционный материал	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м К)	Предельная температура, К	Состав и структура теплоизоляционного материала
Диатомиты и трепелы (иначе инфузорная земля, или кизельгур)	250 - 500	$0,091 \pm 0,00028 \text{ т}$ при $\rho = 450 \text{ кг/м}^3$	-	Ископаемые остатки кремниевых панцирей мелких диатомовых водорослей. Плотность кусковой породы 350 - 1000 кг/м ³ , порошка - 250 - 500 кг/м ³ .
Вермикулит	150 - 250	$0,072 \pm 0,00029 \text{ т}$	1373	Разновидность слюды. Минерал-продукт выветривания горных пород. Обоженный (зонолит) имеет вид зернистой сыпучей массы плотностью 150 кг/м ³ , при уплотнении - 250 кг/м ³ .
Ньивель	160 - 370	при $\rho = 350 \text{ кг/м}^3$ $0,0808 \pm 0,000093 \text{ т}$ при $\rho = 370 \text{ кг/м}^3$ $0,091 \pm 0,00007 \text{ т}$	623	Белый порошок: смесь из легкой магнезии (85 %) и асбеста (15 %). Применяется для изготовления мастичных конструкций.
Вулканит	400 450	$0,080 \pm 0,00021 \text{ т}$ $0,0919 \pm 0,000174 \text{ т}$	658 723	Состоит из измельченного диатомита (60 %), гашеной извести - пушонки (20 %), асбеста (10 %) и асбестовых или ватных отходов (10 % по массе).

Теплоизоляционный материал	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м К)	Предельная температура, К	Состав и структура теплоизоляционного материала
Шлаковая вата	170 - 200	$0,06 \pm 0,000145 \text{ т}$	-	Образуется при распылении воздухом или паром расплавленных доменных шлаков.
Альфоль: из гладких листов	200	$0,0535 \pm 0,000221 \text{ т}$	773	Выполняется из алюминиевой фольги в виде серии экранов, между которыми находится воздух или какой-либо газ. Для уменьшения естественной конвекции между экранами последние выполняются гофрированными.
из гофрированных листов	200	$0,0595 \pm 0,000256 \text{ т}$	773	
Пробка	180 - 260	$0,0465 \pm 0,166$	363	

Таблица 39

Масло МС-20

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\mu \cdot 10^3, \text{Пс}\cdot\text{м}^2$	$\nu \cdot 10^5, \text{м}^2/\text{с}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
0	908,6	1980	0,186	6860	7,59	0,0760	100000
10	898,0	2010	0,185	2480	2,71	0,0748	86200
20	892,5	2040	0,184	999,6	1,12	0,0736	15400
30	886,5	2070	0,183	466	0,526	0,0725	7300
40	881,0	2110	0,181	285	0,267	0,0705	3780
50	875,5	2140	0,180	181	0,150	0,0694	2140
60	869,6	2160	0,129	78,7	0,091	0,0687	1320
70	864,0	2200	0,128	50,2	0,058	0,0673	860
80	858,5	2230	0,127	33,8	0,039	0,0663	590
90	852,5	2260	0,126	23,7	0,028	0,0654	424
100	847,0	2290	0,126	17,2	0,020	0,0650	316
110	841,5	2320	0,124	13,0	0,015	0,0635	244
120	835,5	2350	0,123	10,1	0,012	0,0626	194
130	830,0	2380	0,122	8,04	0,0096	0,0618	157
140	824,5	2420	0,121	6,52	0,0079	0,0606	130
150	818,5	2440	0,120	5,88	0,0065	0,0601	110

Масло трансформаторное

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p \cdot 10^2, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda \cdot 10^5, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\mu \cdot 10^5, \text{Пс}\cdot\text{м}^2$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\alpha \cdot 10^{10}, \text{м}^2/\text{с}$	$Pr \cdot 10^{-2}$
-50	922	170	116	29320	31800	742	4286
-45	919	170	116	15164	16500	742	2224
-40	916	168	116	3866	4220	750	568
-35	913	167	115	2004	2195	755	291
-30	910	165	115	1183	1300	764	170
-25	907	163	114	691,3	762,2	773	98,5
-20	904	162	114	365,6	404,4	778	52,0
-15	901	160	114	189,7	210,5	788	27,0
-10	898	160	113	108,1	120,4	788	15,3
-5	895	160	113	70,79	79,10	787	10,0
0	891	162	112	55,24	67,45	778	8,67
5	888	163	112	43,73	49,25	772	6,38
10	885	165	111	33,45	37,80	763	4,95
15	882	168	111	26,37	29,90	749	3,99
20	879	171	111	21,10	24,00	736	3,26
25	876	175	110	16,60	18,95	720	2,63
30	873	178	110	13,44	15,40	707	2,18
40	867	183	109	9,364	10,80	688	1,57
50	860	187	108	6,708	7,80	673	1,16
60	854	191	108	5,338	6,25	659	0,95
70	848	194	107	4,070	4,80	648	0,74
80	842	198	106	3,242	3,85	635	0,61
90	835	201	105	2,588	3,10	625	0,50
100	829	204	104	1,741	2,10	616	0,34

Таблица 41

Топливо Т-1 (керосин)

Масло АМГ - 10

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^4, \text{Н}\cdot\text{с/м}^2$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	P_c
- 20	859,4	1,647	0,1255	928	108	0,0887	1218
- 10	851,4	1,694	0,1244	511	60	0,0863	695
- 0	843,4	1,744	0,1234	346	41	0,0839	489
+ 10	835,4	1,794	0,1223	242	29	0,0816	355
20	827,4	1,844	0,1213	178	21,5	0,0795	270
30	819,4	1,894	0,1203	129	15,8	0,0775	204
40	811,4	1,952	0,1192	102	12,6	0,0753	167
50	803,3	1,994	0,1182	85,6	10,65	0,0738	144
60	795,3	2,045	0,1171	69,6	8,75	0,0720	122
70	787,3	2,095	0,1161	56,3	7,15	0,0704	101
80	779,3	2,145	0,1150	46,8	6,0	0,0688	87,2
90	771,3	2,195	0,1140	40,1	5,2	0,0673	72,3
100	763,3	2,245	0,1129	34,3	4,5	0,0659	68,3
110	755,3	2,295	0,1119	30,2	4,0	0,0646	61,9
120	747,3	2,345	0,1109	26,53	3,55	0,0633	56,1
130	739,0	2,395	0,1098	23,4	3,17	0,0620	51,0
140	731,2	2,445	0,1088	21,0	2,87	0,0609	47,1
150	723,2	2,496	0,1077	19,3	2,66	0,0600	44,4

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^4, \text{Н}\cdot\text{с/м}^2$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	P_c
- 50	-	-	0,127	11,5	-	-	-
- 45	-	-	0,126	9,04	-	-	-
- 40	-	-	0,126	7,26	-	-	-
- 35	-	-	0,125	5,96	-	-	-
- 30	-	-	0,124	4,98	-	-	-
- 25	-	-	0,123	4,22	-	-	-
- 20	-	-	0,123	3,62	-	-	-
- 15	-	-	0,122	3,14	-	-	-
- 10	-	-	0,121	2,75	-	-	-
- 5	-	-	0,120	2,42	-	-	-
0	-	-	0,119	2,15	-	-	-
20	819	2,00	0,117	1,49	1,82	71,1	26
40	808	2,09	0,113	1,08	1,34	66,9	20
60	795	2,18	0,110	0,832	1,05	63,5	17
80	781	2,28	0,107	0,664	0,85	60,0	14
90	774	2,33	0,106	0,620	0,80	58,5	14
100	766	2,38	0,104	0,545	0,71	57,2	12
110	759	2,43	0,103	0,50	0,66	55,6	12
120	751	2,48	0,101	0,457	0,61	54,2	11
130	744	2,53	0,0995	0,420	0,56	52,9	11
140	736	2,58	0,0980	0,390	0,53	51,6	10
150	728	2,63	0,0965	0,380	0,52	50,4	10
160	720	2,68	0,0950	0,338	0,47	49,2	10
170	711	2,73	0,0935	0,320	0,45	48,2	9
180	703	2,79	0,0920	0,296	0,42	47,0	9
190	694	2,84	0,0900	0,280	0,40	45,7	9
200	685	2,89	0,0891	0,262	0,38	45,0	8
210	676	2,94	0,0875	0,250	0,37	44,0	8
220	668	3,00	0,0860	0,234	0,35	43,0	8
230	658	3,05	0,0845	0,220	0,33	42,0	8
240	649	3,11	0,0830	0,211	0,33	41,0	8
250	638	3,16	0,0816	0,20	0,31	40,4	8
260	628	3,21	0,0800	0,191	0,30	40,0	8

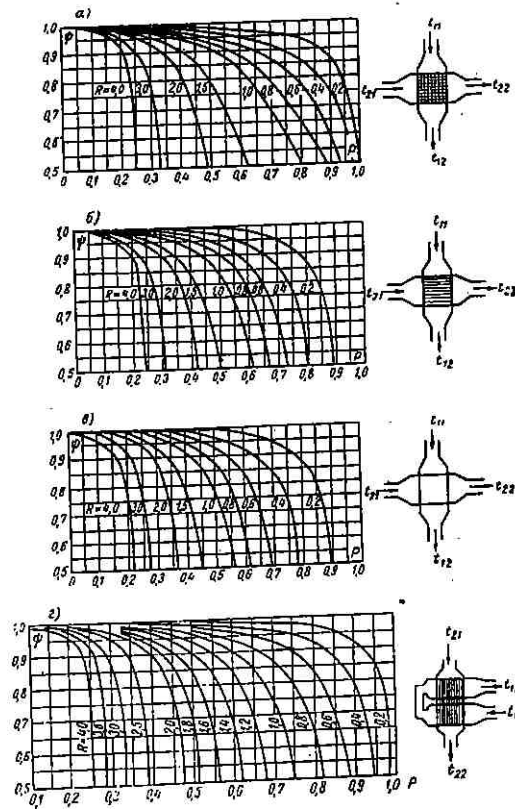
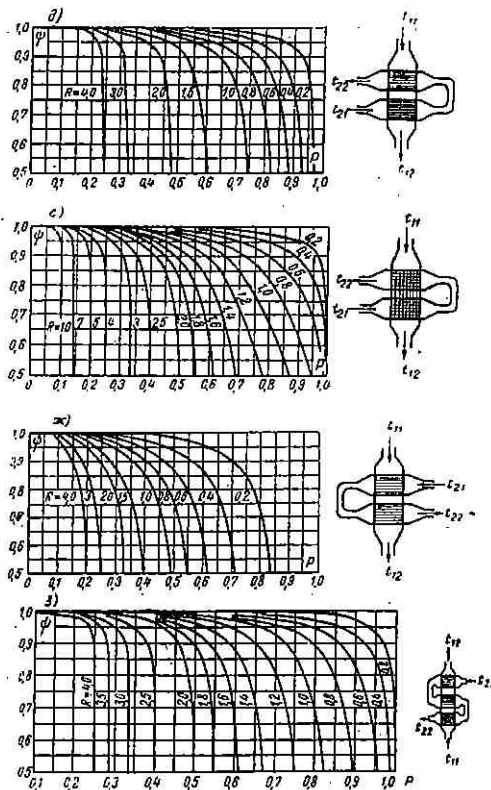


Рис.2. К определению множителя ψ в формуле (2)



перекрестного тока для различных схем

Х. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ЛОГАРИФИЧЕСКОЙ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

На рис. 1, а и б показаны распределения температур в двух основных схемах взаимного движения теплоносителей в теплообменных аппаратах: прямоточной и противоточной.



Рис. 1. Распределение температур теплоносителей: в прямоточной (а) и противоточной (б) схемах

В обоих случаях средняя логарифмическая разность температур определяется по формуле

$$\bar{\Delta t} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad (1)$$

Для других схем

$$\bar{\Delta t} = \psi \Delta t_{\text{пор}} = \psi \frac{(t_{11} - t_{22}) - (t_{12} - t_{21})}{\ln \frac{t_{11} - t_{22}}{t_{12} - t_{21}}}, \quad (2)$$

где множитель ψ вычисляется как функция вспомогательных параметров

$$P = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \quad \text{и} \quad R = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{22} - t_{21}}.$$

Эти функции приводятся обычно в виде графиков. Для некоторых из распространенных перекрестно-точных схем также графики приведены на рис. 2. Эти схемы различаются по условиям перемешивания каждого из теплоносителей в пределах хода и между ними. На рисунках параллельные линии (в виде штриховки) означают, что по данному тракту теплоноситель не перемешивается.

На рис. 2 — однократно перекрестный ток: а — обе среды не перемешиваются; б — одна среда перемешивается; в — обе среды не перемешиваются; двукратно перекрестный ток: г — одна среда перемешивается; д — одна среда перемешивается непрерывно, другая только между ходами; е — одна среда не перемешивается, другая между ходами; ж — то же, что и «д», но при общем притоке; трехкратно перекрестный ток: з — одна среда перемешивается, другая только между ходами.

XI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕБРА И МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Эффективность ребра

Эффективность ребра оребренной поверхности определяется формулой

$$\eta_p = \frac{th ml}{ml}.$$

где m — параметр ребра;

l — длина ребра.

Для плоских ребер $m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda \delta}};$

для круглых $m = \sqrt{\frac{4\alpha}{\lambda \delta}}.$

В этих формулах:

α — коэффициент теплоотдачи между ребром и средой;

λ — коэффициент теплопроводности материала ребра;

δ — толщина ребра.

Длина ребра в пластинчатых теплообменниках определяется как половина расстояния между поверхностями, в круглых — как разность наружного и внутреннего диаметра ребра.

На рис. 3 представлен график для определения эффективности ребра в функции ml .

Местные гидравлические сопротивления

Падение давления в местном сопротивлении определяется формулой

$$\Delta p = \zeta \frac{w^2}{2} \rho,$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления;

w — скорость в расчетном сечении участка, создающего местное гидравлическое сопротивление

Ниже приводятся графики для определения некоторых местных сопротивлений, встречающихся в теплообменных аппаратах.

Резкое изменение сечения, вход потока в трубы и каналы и выход из них

На рис. 4 представлен график для определения коэффициентов местных сопротивлений выхода $\zeta_{\text{вых}}$ (увеличение сечения) и входа $\zeta_{\text{вх}}$ (уменьшение сечения) в зависимости от отношения меньшего сечения к большему. Скорости относятся к меньшему сечению.

На рис.5 представлена зависимость коэффициента сопротивления прямого входа от относительного расстояния d/l , входного отверстия до стенки, в которую заделана труба. Для случая заделки заподлицо ($\beta = 0$) $\xi = 0,5$.

Изменения направления движения

Для плавного "нормального" ($R_H > R_{вн}$ и $R_{вн} > 0$) поворота коэффициент сопротивления определяется по формуле

$$\xi = \xi_0 B C,$$

где ξ_0 - исходный коэффициент сопротивления, определяется по графику (рис.6) в функции от $R/l\beta$. Величина B определяется по графику рис.7 в зависимости от угла поворота α (при $\alpha=90^\circ \beta=1$). Множитель C находится по графику рис.8 в зависимости от размеров поперечного сечения h и b (см.рис.8). При круглом и квадратном сечении $C = 1$. Величина C зависит также от кривизны поворота.

Коэффициент местного сопротивления резкого поворота ($R_H=0, R_{вн}=0$) определяется по формуле

$$\xi = 1,2 B,$$

где B принимается по графику рис.7 в зависимости от угла поворота α .

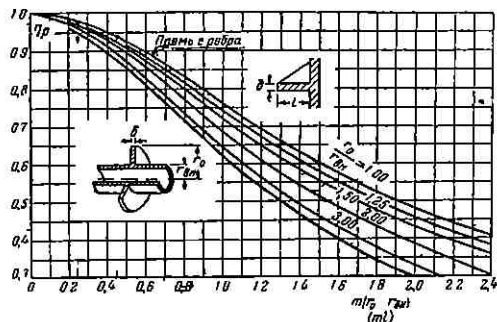


Рис. 3. Эффективность ребра. Круглые и прямые ребра

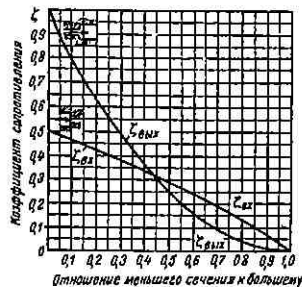


Рис. 4. Коэффициенты сопротивления при внезапном изменении сечения (относятся к скорости в меньшем сечении) $\xi_{вых}$ - коэффициент сопротивления выхода (увеличение сечения); $\xi_{вх}$ - коэффициент сопротивления входа (уменьшение сечения)

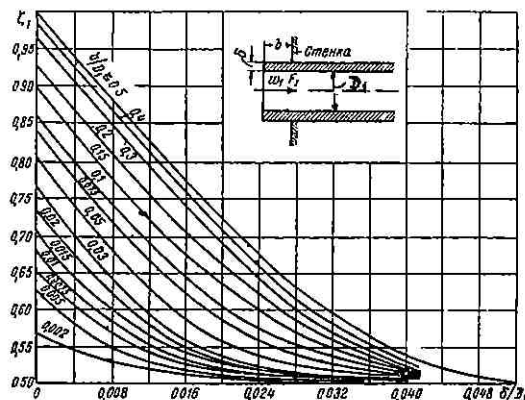


Рис. 5. Коэффициент сопротивления прямого входа в трубу, входное отверстие которой удалено от места ее заделки

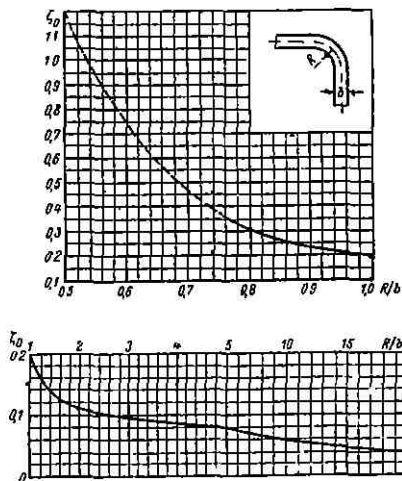


Рис. 6. Исходный коэффициент сопротивления плавных поворотов $\zeta = f(R/b)$

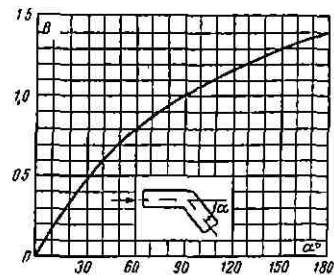


Рис. 7. Поправочный коэффициент к коэффициенту сопротивления поворотов, зависящий от угла поворота

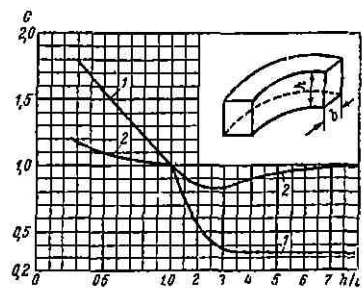


Рис. 8. Поправочный коэффициент к коэффициенту сопротивления плавных поворотов, зависящий от формы сечения:

1 - при $R/b = 3 \div 4$; 2 - при $R/b \leq 1,5$

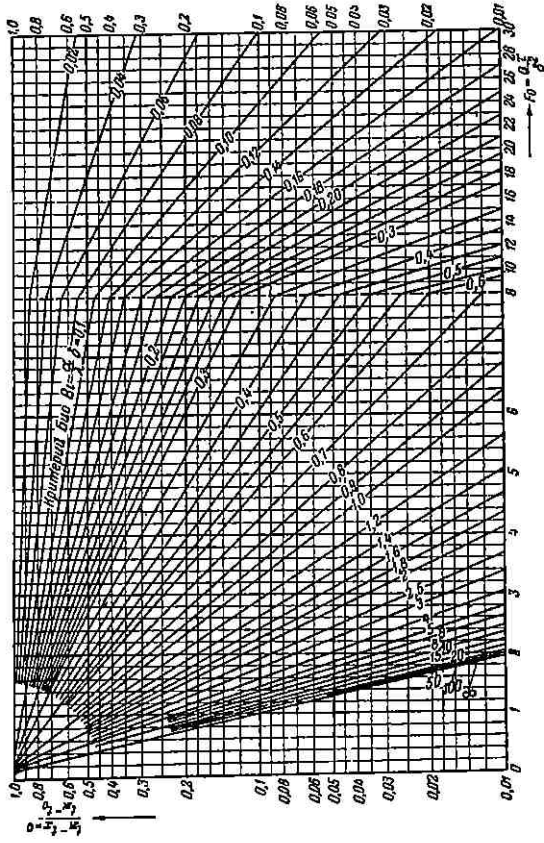


Рис. 9. Безразмерная изотермическая температура в середине плоской пластины

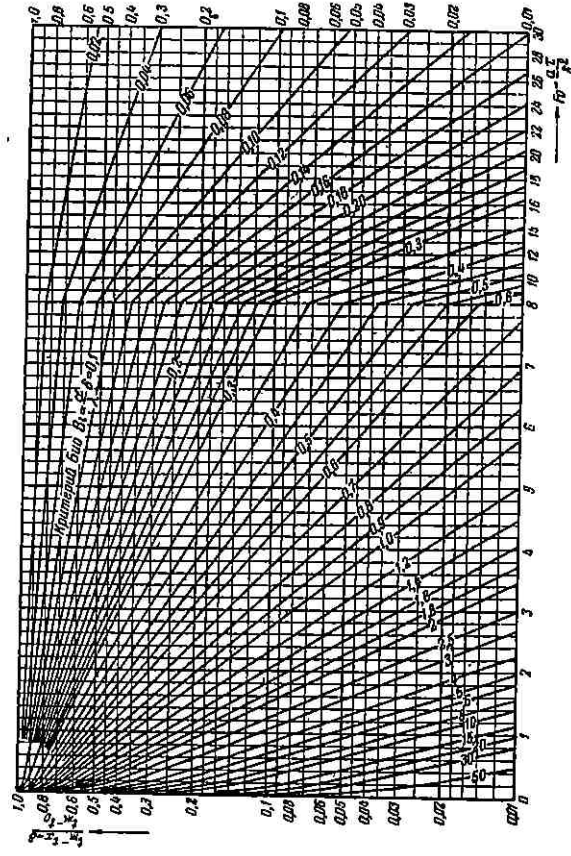


Рис. 10. Безразмерная изотермическая температура на поверхности плоской пластины.

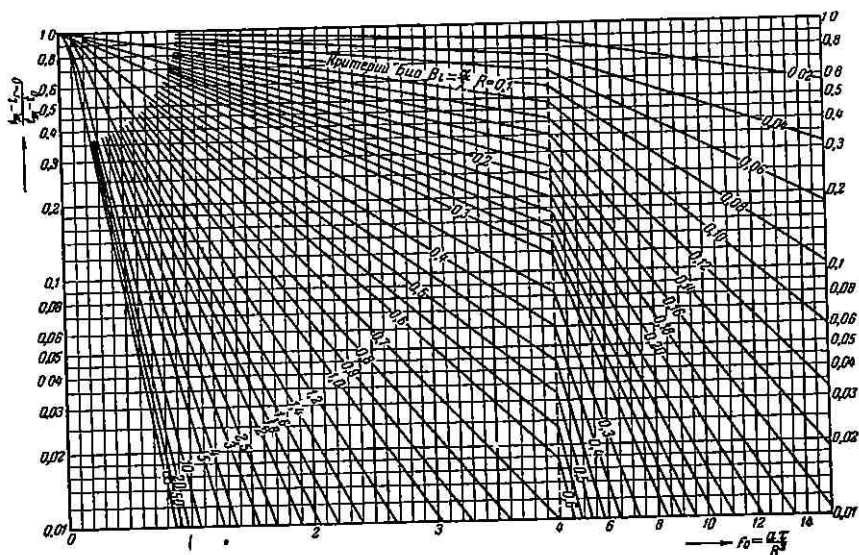


Рис. 11. Безразмерная избыточная температура на оси цилиндра

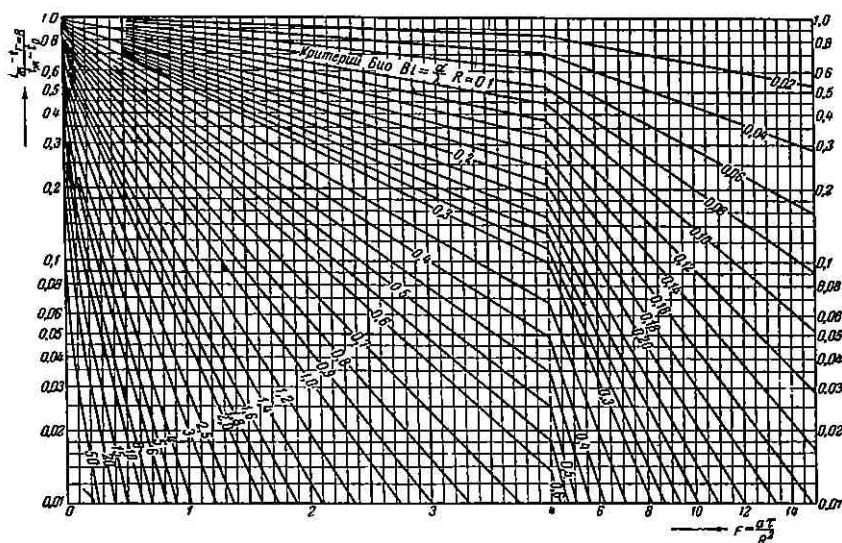


Рис. 12. Безразмерная избыточная температура на поверхности цилиндра

ЛИТЕРАТУРА

1. В а р г а ф т и к Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Наука, 1972.
2. Ч и р к и н В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. - М.: Атомиздат, 1968.
3. К у т а т е л а д з е С. С., Б о р и ш а н с к и й В. М. Справочник по теплопередаче. - М.: Госэнергоиздат, 1959.
4. Б о р и ш а н с к и й В. М. и др. Жидкометаллические теплоносители. - М.: Атомиздат, 1976.
5. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые спеченные и литейные алюминиевые сплавы: Справочное руководство / Под ред. Ф. И. Квасова, И. Н. Фридляндера. - М.: Металлургия, 1972.
6. „Metals Handbook“ 8th edition. Vol 1. „Properties and Selection of Metals“.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
I. Обозначения и единицы основных физических величин	4
II. Таблица международной стандартной атмосферы	6
III. Теплофизические свойства газовых теплоносителей	10
IV. Некоторые термодинамические и теплофизические свойства жидко-металлических теплоносителей	22
V. Теплофизические свойства металлов	32
VI. Свойства графитов	43
VII. Свойства карбидов	46
VIII. Свойства теплоизоляционных материалов	49
IX. Теплофизические свойства некоторых масел и топлив	52
X. Определение средней логарифмической разности температур в теплообменных аппаратах	58
XI. Определение эффективности ребра и местных гидравлических сопротивлений	59
XII. Графики для расчета нестационарной теплопроводности	64
И4. Литература	68