Институт ИТАЭ
Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Банк заданий по базовой части вступительного испытания в магистратуру

Задание экзаменационного билета № 1 (10 баллов)

Задание 1.1
В воздухоподогреватель поступает воздух с температурой $t_1 = 16$ °C. Какова температура t_2 на выходе из воздухоподогревателя, если 1 кг газа сообщается 30 кДж/кг теплоты? Расчеты выполнить с помощью таблиц термодинамических свойств газов.

Таблицы термодинамических свойств газов
Таблица 1. Воздух (M = 28,96 кг/кмоль)

t, °C	T, K	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·K^{-1}
12	285,15	285,55	203,70	1,1623	58,599	6,8199
14	287,15	287,56	205,13	1,1910	57,585	6,8269
16	289,15	289,57	206,57	1,2203	56,595	6,8339
18	291,15	291,58	208,00	1,2501	55,628	6,8408
20	293,15	293,59	209,44	1,2804	54,685	6,8477
22	295,15	295,60	210,87	1,3112	53,763	6,8545
24	297,15	297,61	212,31	1,3426	52,863	6,8613
26	299,15	299,61	213,74	1,3745	51,984	6,8680
28	301,15	301,62	215,18	1,4069	51,125	6,8747
30	303,15	303,63	216,61	1,4399	50,286	6,8814
32	305,15	305,64	218,05	1,4734	49,465	6,8880
34	307,15	307,66	219,48	1,5075	48,664	6,8946
36	309,15	309,67	220,92	1,5422	47,880	6,9011
38	311,15	311,68	222,36	1,5774	47,113	6,9076
40	313,15	313,69	223,79	1,6132	46,364	6,9140
42	315,15	315,70	225,23	1,6496	45,631	6,9204
44	317,15	317,71	226,67	1,6866	44,914	6,9268
46	319,15	319,72	228,11	1,7241	44,212	6,9331
48	321,15	321,73	229,54	1,7623	43,526	6,9394
50	323,15	323,75	230,98	1,8011	42,854	6,9456
52	325,15	325,76	232,42	1,8405	42,197	6,9518

Задание 1.2
В закрытом сосуде V=3 м^3 содержится диоксид углерода CO_2 ($\mu = 44{,}01$ $^{кг}/_{кмоль}$) при $p_1 = 0{,}2$ МПа и температуре $t_1 = 30$ °C. Определите конечную температуру газа, если к газу подводится 120 кДж. Расчеты выполнить с помощью таблиц термодинамических свойств газов.

Таблица 2. Диоксид углерода (M = 44,01 кг/кмоль)

t, °C	T, K	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·K^{-1}
30	303,15	217,03	159,75	1,5831	883,27	4,8717
32	305,15	218,73	161,08	1,6307	863,17	4,8773
34	307,15	220,43	162,40	1,6794	843,61	4,8829
36	309,15	222,14	163,73	1,7295	824,55	4,8884
38	311,15	223,85	165,07	1,7807	805,98	4,8939
40	313,15	225,57	166,40	1,8333	787,90	4,8994
42	315,15	227,29	167,75	1,8872	770,27	4,9049
44	317,15	229,01	169,09	1,9425	753,10	4,9104
46	319,15	230,74	170,44	1,9992	736,37	4,9158
48	321,15	232,47	171,80	2,0573	720,06	4,9212
50	323,15	234,21	173,16	2,1168	704,17	4,9266
52	325,15	235,95	174,52	2,1778	688,67	4,9320

Задание 1.3

В воздухоподогреватель поступает 10 кг воздуха с температурой $t_1 = 16$ ℃. Какое количества тепла подводится к газу, если его температура увеличилась на $\Delta t = 34$℃ ? Расчеты выполнить с помощью таблиц термодинамических свойств газов.

Таблицы термодинамических свойств газов

Таблица 1. Воздух (M = 28,96 кг/кмоль)

t, °C	T, K	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·K^{-1}
12	285,15	285,55	203,70	1,1623	58,599	6,8199
14	287,15	287,56	205,13	1,1910	57,585	6,8269
16	289,15	289,57	206,57	1,2203	56,595	6,8339
18	291,15	291,58	208,00	1,2501	55,628	6,8408
20	293,15	293,59	209,44	1,2804	54,685	6,8477
22	295,15	295,60	210,87	1,3112	53,763	6,8545
24	297,15	297,61	212,31	1,3426	52,863	6,8613
26	299,15	299,61	213,74	1,3745	51,984	6,8680
28	301,15	301,62	215,18	1,4069	51,125	6,8747
30	303,15	303,63	216,61	1,4399	50,286	6,8814
32	305,15	305,64	218,05	1,4734	49,465	6,8880
34	307,15	307,66	219,48	1,5075	48,664	6,8946
36	309,15	309,67	220,92	1,5422	47,880	6,9011
38	311,15	311,68	222,36	1,5774	47,113	6,9076
40	313,15	313,69	223,79	1,6132	46,364	6,9140
42	315,15	315,70	225,23	1,6496	45,631	6,9204
44	317,15	317,71	226,67	1,6866	44,914	6,9268
46	319,15	319,72	228,11	1,7241	44,212	6,9331
48	321,15	321,73	229,54	1,7623	43,526	6,9394
50	323,15	323,75	230,98	1,8011	42,854	6,9456
52	325,15	325,76	232,42	1,8405	42,197	6,9518

m

Задание 1.4

В закрытом сосуде содержится 3 кг диоксида углерода CO_2 при температуре t_1=10 °C. Какое количества тепла сообщается газу, если его температура увеличилась на $\Delta t = 34$℃ ? Расчеты выполнить с помощью таблиц термодинамических свойств газов.

Таблица 2. Диоксид углерода (M = 44,01 кг/кмоль)

t, °C	T, K	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·K^{-1}
10	283,15	200,26	146,76	1,1695	1116,8	4,8145
12	285,15	201,91	148,04	1,2061	1090,5	4,8203
14	287,15	203,58	149,33	1,2438	1064,9	4,8261
16	289,15	205,24	150,61	1,2825	1040,0	4,8319
18	291,15	206,91	151,91	1,3222	1015,8	4,8377
20	293,15	208,59	153,20	1,3629	992,16	4,8434
22	295,15	210,27	154,51	1,4047	969,20	4,8491
24	297,15	211,95	155,81	1,4476	946,85	4,8548
26	299,15	213,64	157,12	1,4916	925,09	4,8605
28	301,15	215,33	158,44	1,5368	903,90	4,8661
30	303,15	217,03	159,75	1,5831	883,27	4,8717
32	305,15	218,73	161,08	1,6307	863,17	4,8773
34	307,15	220,43	162,40	1,6794	843,61	4,8829
36	309,15	222,14	163,73	1,7295	824,55	4,8884
38	311,15	223,85	165,07	1,7807	805,98	4,8939
40	313,15	225,57	166,40	1,8333	787,90	4,8994
42	315,15	227,29	167,75	1,8872	770,27	4,9049
44	317,15	229,01	169,09	1,9425	753,10	4,9104
46	319,15	230,74	170,44	1,9992	736,37	4,9158
48	321,15	232,47	171,80	2,0573	720,06	4,9212
50	323,15	234,21	173,16	2,1168	704,17	4,9266

Задание 1.5

Воздух, массой 5 кг, при температуре 290 К расширяется в изотермическом процессе, при этом его объём увеличивается в 3 раза. Удельная газовая постоянной 287,1 Дж/(кг*К). Определить работу расширения газа.

Задание 1.6

Воздух, массой 3 кг, при абсолютном давлении 4 бар и температуре 290 К сжимается в изотермическом процессе, при этом его давление увеличивается в 2 раза. Удельная газовая постоянной 287,1 Дж/(кг*К). Определить работу расширения газа.

Задание 1.7

При расширении 10 кг газа совершается работа, равная 30 кДж. При этом к газу извне подводится 10 кДж теплоты. Определите, как изменится удельная внутренняя энергия в этом процессе?

Задание 1.8

Воздух, массой 1 кг, при начальном абсолютном давлении 1 МПа и температуре 360 ◦С расширяется по адиабате до конечного давления 0,58 МПа. Определить техническую работу. Задачу решить с помощью таблиц.

Воздух *Продолжение табл. 1*

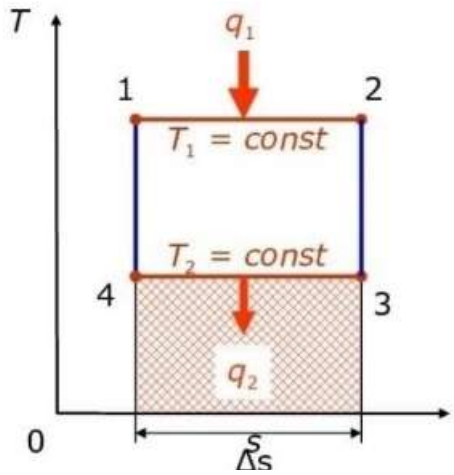
t, °C	T, K	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·K^{-1}
266	539,15	543,87	389,10	11,059	11,645	7,4666
268	541,15	545,94	390,60	11,208	11,532	7,4704
270	543,15	548,02	392,10	11,358	11,422	7,4743
272	545,15	550,10	393,60	11,510	11,312	7,4781
274	547,15	552,17	395,11	11,664	11,204	7,4819
276	549,15	554,25	396,61	11,819	11,098	7,4857
278	551,15	556,33	398,12	11,976	10,992	7,4895
280	553,15	558,41	399,63	12,134	10,888	7,4932
282	555,15	560,49	401,13	12,294	10,786	7,4970
284	557,15	562,58	402,64	12,455	10,684	7,5007
286	559,15	564,66	404,15	12,618	10,584	7,5045
288	561,15	566,74	405,66	12,783	10,485	7,5082
290	563,15	568,83	407,17	12,949	10,387	7,5119
292	565,15	570,91	408,68	13,117	10,291	7,5156
294	567,15	573,00	410,19	13,286	10,196	7,5193
296	569,15	575,09	411,71	13,458	10,101	7,5229
298	571,15	577,18	413,22	13,630	10,008	7,5266
300	573,15	579,27	414,74	13,805	9,9165	7,5303
302	575,15	581,36	416,25	13,981	9,8256	7,5339
304	577,15	583,45	417,77	14,159	9,7359	7,5375
306	579,15	585,54	419,29	14,339	9,6473	7,5411
308	581,15	587,63	420,81	14,520	9,5597	7,5448
310	583,15	589,73	422,33	14,703	9,4732	7,5484
312	585,15	591,82	423,85	14,888	9,3876	7,5519
314	587,15	593,92	425,37	15,074	9,3031	7,5555
316	589,15	596,01	426,89	15,263	9,2196	7,5591
318	591,15	598,11	428,42	15,453	9,1371	7,5626
320	593,15	600,21	429,94	15,645	9,0555	7,5662
322	595,15	602,31	431,47	15,839	8,9749	7,5697
324	597,15	604,41	432,99	16,034	8,8952	7,5732
326	599,15	606,51	434,52	16,232	8,8164	7,5767
328	601,15	608,61	436,05	16,431	8,7386	7,5803
330	603,15	610,72	437,58	16,632	8,6616	7,5837
332	605,15	612,82	439,11	16,835	8,5855	7,5872
334	607,15	614,93	440,64	17,040	8,5103	7,5907
336	609,15	617,03	442,17	17,247	8,4360	7,5942
338	611,15	619,14	443,70	17,456	8,3625	7,5976
340	613,15	621,25	445,24	17,666	8,2898	7,6011
342	615,15	623,35	446,77	17,879	8,2180	7,6045
344	617,15	625,46	448,31	18,093	8,1469	7,6079
346	619,15	627,57	449,84	18,310	8,0767	7,6113
348	621,15	629,69	451,38	18,528	8,0072	7,6147
350	623,15	631,80	452,92	18,749	7,9386	7,6181
352	625,15	633,91	454,46	18,971	7,8706	7,6215
354	627,15	636,03	456,00	19,196	7,8035	7,6249
356	629,15	638,14	457,54	19,422	7,7371	7,6283
358	631,15	640,26	459,08	19,651	7,6714	7,6316
360	633,15	642,38	460,62	19,881	7,6064	7,6350
362	635,15	644,49	462,17	20,114	7,5422	7,6383
364	637,15	646,61	463,71	20,349	7,4786	7,6416
366	639,15	648,73	465,26	20,586	7,4158	7,6450
368	641,15	650,85	466,81	20,825	7,3536	7,6483
370	643,15	652,98	468,35	21,066	7,2921	7,6516

Задание 1.9

Тепловой двигатель за один цикл получает от нагревателя q_1=300 кДж теплоты и отдает холодильнику q_2=120 кДж. Чему равен КПД этого двигателя (%)?

Задание 1.10

Определите термический КПД теплового двигателя, работающего по обратимому циклу Карно. Температура подвода теплоты $t_1 = 550$ °C, температура отвода теплоты $t_2 = 30$ °C.



Пример выполнения задания 1.2

В закрытом сосуде V=6 м^3 содержится диоксид углерода CO_2 ($\mu = 44{,}01$ $^{кг}/_{кмоль}$) при $p_1 = 0{,}1$ МПа и температуре $t_1 = 30$ °C. Определите конечную температуру газа, если к газу подводится 120 кДж. Расчеты выполнить с помощью таблиц термодинамических свойств газов.

Решение.

1. Газовая постоянная CO_2

$$R = \frac{8{,}31451}{\mu} = \frac{8{,}31451}{44{,}01} = 0{,}189 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

2. Абсолютная температура газа в начале процесса

$$T_1 = 273{,}15 + t_1 = 273{,}15 + 30 = 303{,}15 \text{ К}$$

3. Масса газа в сосуде

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T_1} = \frac{0{,}1 \cdot 1000 \cdot 6}{0{,}189 \cdot 303{,}15} = 10{,}472 \text{ кг}$$

4. Внутренняя энергия газа в начале процесса нагрева по таблице термодинамических свойств $u_1 = 159{,}75$ кДж/кг
5. Внутренняя энергия газа в конце процесса нагрева

$$u_2 = u_1 + q = 159{,}75 + \frac{120}{10{,}472} = 171{,}209 \text{ кДж/кг}$$

6. Конечная температура газа определяется по таблице термодинамических свойств

$$t_2 = 46 + \frac{171{,}209 - 170{,}44}{171{,}8 - 170{,}44} \cdot (48 - 46) = 47{,}1 \text{ °C.}$$

Ответ: $t_2 = 47{,}1$ °C.

Задание экзаменационного билета № 2 (10 баллов)

Задание 2.1

Воздух, массой 1 кг, при начальном абсолютном давлении 2 МПа и температуре 360 ◦С расширяется по адиабате до конечного давления 1,16 МПа. Определить техническую работу. Задачу решить с помощью таблиц.

Воздух *Продолжение табл. 1*

t, °С	T, К	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·К$^{-1}$
266	539,15	543,87	389,10	11,059	11,645	7,4666
268	541,15	545,94	390,60	11,208	11,532	7,4704
270	543,15	548,02	392,10	11,358	11,422	7,4743
272	545,15	550,10	393,60	11,510	11,312	7,4781
274	547,15	552,17	395,11	11,664	11,204	7,4819
276	549,15	554,25	396,61	11,819	11,098	7,4857
278	551,15	556,33	398,12	11,976	10,992	7,4895
280	553,15	558,41	399,63	12,134	10,888	7,4932
282	555,15	560,49	401,13	12,294	10,786	7,4970
284	557,15	562,58	402,64	12,455	10,684	7,5007
286	559,15	564,66	404,15	12,618	10,584	7,5045
288	561,15	566,74	405,66	12,783	10,485	7,5082
290	563,15	568,83	407,17	12,949	10,387	7,5119
292	565,15	570,91	408,68	13,117	10,291	7,5156
294	567,15	573,00	410,19	13,286	10,196	7,5193
296	569,15	575,09	411,71	13,458	10,101	7,5229
298	571,15	577,18	413,22	13,630	10,008	7,5266
300	573,15	579,27	414,74	13,805	9,9165	7,5303
302	575,15	581,36	416,25	13,981	9,8256	7,5339
304	577,15	583,45	417,77	14,159	9,7359	7,5375
306	579,15	585,54	419,29	14,339	9,6473	7,5411
308	581,15	587,63	420,81	14,520	9,5597	7,5448
310	583,15	589,73	422,33	14,703	9,4732	7,5484
312	585,15	591,82	423,85	14,888	9,3876	7,5519
314	587,15	593,92	425,37	15,074	9,3031	7,5555
316	589,15	596,01	426,89	15,263	9,2196	7,5591
318	591,15	598,11	428,42	15,453	9,1371	7,5626
320	593,15	600,21	429,94	15,645	9,0555	7,5662
322	595,15	602,31	431,47	15,839	8,9749	7,5697
324	597,15	604,41	432,99	16,034	8,8952	7,5732
326	599,15	606,51	434,52	16,232	8,8164	7,5767
328	601,15	608,61	436,05	16,431	8,7386	7,5803
330	603,15	610,72	437,58	16,632	8,6616	7,5837
332	605,15	612,82	439,11	16,835	8,5855	7,5872
334	607,15	614,93	440,64	17,040	8,5103	7,5907
336	609,15	617,03	442,17	17,247	8,4360	7,5942
338	611,15	619,14	443,70	17,456	8,3625	7,5976
340	613,15	621,25	445,24	17,666	8,2898	7,6011
342	615,15	623,35	446,77	17,879	8,2180	7,6045
344	617,15	625,46	448,31	18,093	8,1469	7,6079
346	619,15	627,57	449,84	18,310	8,0767	7,6113
348	621,15	629,69	451,38	18,528	8,0072	7,6147
350	623,15	631,80	452,92	18,749	7,9386	7,6181
352	625,15	633,91	454,46	18,971	7,8706	7,6215
354	627,15	636,03	456,00	19,196	7,8035	7,6249
356	629,15	638,14	457,54	19,422	7,7371	7,6283
358	631,15	640,26	459,08	19,651	7,6714	7,6316
360	633,15	642,38	460,62	19,881	7,6064	7,6350
362	635,15	644,49	462,17	20,114	7,5422	7,6383
364	637,15	646,61	463,71	20,349	7,4786	7,6416
366	639,15	648,73	465,26	20,586	7,4158	7,6450
368	641,15	650,85	466,81	20,825	7,3536	7,6483
370	643,15	652,98	468,35	21,066	7,2921	7,6516

Задание 2.2

Из суживающего сопла вытекает воздух. На входе в сопло давление и температура соответственно равны $p_0 = 4$ МПа и $t_0 = 140$ °C. Давление среды, в которую происходит истечение $p_{ср} = 2{,}8$ МПа. Определить режим истечения из сопла и температуру на выходе из сопла.

Воздух *Продолжение табл. 1*

t, °C	T, K	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·K^{-1}
100	373,15	374,15	267,04	2,9850	29,858	7,0906
102	375,15	376,17	268,48	3,0417	29,459	7,0960
104	377,15	378,19	269,93	3,0991	29,067	7,1014
106	379,15	380,22	271,38	3,1574	28,682	7,1068
108	381,15	382,24	272,83	3,2165	28,303	7,1121
110	383,15	384,26	274,27	3,2763	27,932	7,1174
112	385,15	386,28	275,72	3,3370	27,568	7,1226
114	387,15	388,31	277,17	3,3985	27,209	7,1279
116	389,15	390,33	278,62	3,4608	26,858	7,1331
118	391,15	392,36	280,07	3,5239	26,512	7,1383
120	393,15	394,38	281,52	3,5878	26,173	7,1435
122	395,15	396,41	282,97	3,6526	25,839	7,1486
124	397,15	398,43	284,43	3,7183	25,511	7,1537
126	399,15	400,46	285,88	3,7848	25,189	7,1588
128	401,15	402,49	287,33	3,8522	24,873	7,1639
130	403,15	404,51	288,78	3,9204	24,561	7,1689
132	405,15	406,54	290,24	3,9896	24,256	7,1739
134	407,15	408,57	291,69	4,0596	23,955	7,1789
136	409,15	410,60	293,15	4,1305	23,659	7,1839
138	411,15	412,63	294,60	4,2023	23,369	7,1888
140	413,15	414,66	296,06	4,2750	23,083	7,1938
142	415,15	416,69	297,52	4,3487	22,802	7,1987
144	417,15	418,72	298,97	4,4233	22,525	7,2035
146	419,15	420,75	300,43	4,4988	22,254	7,2084
148	421,15	422,78	301,89	4,5752	21,986	7,2132
150	423,15	424,82	303,35	4,6526	21,723	7,2181

Задание 2.3

Начальные параметры водяного пара (реальный газ), поступающего к соплу $p_0 = 7$ МПа и $t_0 = 500$ °C. Давление среды $p_{ср} = 4$ МПа. Выберите тип сопла и определите температуру на выходе из сопла.

t	p= 7,0 МПа			p= 7,5 МПа			p= 8,0 МПа			p= 8,5 МПа		
	$t_{нас}$ = 285,83			$t_{нас}$ = 290,54			$t_{нас}$ = 295,01			$t_{нас}$ = 299,27		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
500	0,048159	3411,3	6,7997	0,044751	3405,3	6,7620	0,041769	3399,4	6,7264	0,039137	3393,4	6,6925
510	0,048931	3435,5	6,8308	0,045481	3429,8	6,7935	0,042461	3424,1	6,7581	0,039795	3418,3	6,7245
520	0,049697	3459,6	6,8614	0,046204	3454,1	6,8244	0,043147	3448,6	6,7893	0,040448	3443,1	6,7560
530	0,050458	3483,6	6,8916	0,046922	3478,4	6,8547	0,043827	3473,1	6,8199	0,041095	3467,8	6,7869
540	0,051214	3507,6	6,9212	0,047635	3502,6	6,8847	0,044502	3497,5	6,8501	0,041737	3492,4	6,8173

t	p= 3,4 МПа			p= 3,6 МПа			p= 3,8 МПа			p= 4,0 МПа		
	$t_{нас}$ = 240,90			$t_{нас}$ = 244,19			$t_{нас}$ = 247,33			$t_{нас}$ = 250,36		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
400	0,087172	3224,8	6,8579	0,082084	3221,3	6,8276	0,077531	3217,9	6,7988	0,073432	3214,4	6,7712
410	0,088715	3247,8	6,8919	0,083554	3244,5	6,8619	0,078934	3241,3	6,8333	0,074776	3237,9	6,8059
420	0,090247	3270,8	6,9252	0,085011	3267,7	6,8955	0,080326	3264,5	6,8671	0,076108	3261,4	6,8400
430	0,091769	3293,7	6,9580	0,086459	3290,7	6,9284	0,081707	3287,7	6,9003	0,077429	3284,7	6,8734
440	0,093281	3316,5	6,9902	0,087896	3313,6	6,9608	0,083078	3310,7	6,9328	0,078740	3307,9	6,9061

Задание 2.4

Из суживающего сопла вытекает воздух. На входе в сопло давление и температура соответственно равны $p_0 = 7$ МПа и $t_0 = 140$ °C. Давление среды, в которую происходит истечение $p_{ср} = 4{,}8$ МПа. Определить режим истечения из сопла и температуру на выходе из сопла.

Воздух *Продолжение табл. 1*

t, °C	T, K	h, кДж·кг$^{-1}$	u, кДж·кг$^{-1}$	π_0	θ_0	s^0, кДж·кг$^{-1}$·К$^{-1}$
90	363,15	364,05	259,81	2,7129	31,972	7,0632
92	365,15	366,07	261,25	2,7658	31,533	7,0688
94	367,15	368,09	262,70	2,8195	31,103	7,0743
96	369,15	370,11	264,14	2,8739	30,680	7,0798
98	371,15	372,13	265,59	2,9290	30,265	7,0852
100	373,15	374,15	267,04	2,9850	29,858	7,0906
102	375,15	376,17	268,48	3,0417	29,459	7,0960
104	377,15	378,19	269,93	3,0991	29,067	7,1014
106	379,15	380,22	271,38	3,1574	28,682	7,1068
108	381,15	382,24	272,83	3,2165	28,303	7,1121
110	383,15	384,26	274,27	3,2763	27,932	7,1174
112	385,15	386,28	275,72	3,3370	27,568	7,1226
114	387,15	388,31	277,17	3,3985	27,209	7,1279
116	389,15	390,33	278,62	3,4608	26,858	7,1331
118	391,15	392,36	280,07	3,5239	26,512	7,1383
120	393,15	394,38	281,52	3,5878	26,173	7,1435
122	395,15	396,41	282,97	3,6526	25,839	7,1486
124	397,15	398,43	284,43	3,7183	25,511	7,1537
126	399,15	400,46	285,88	3,7848	25,189	7,1588
128	401,15	402,49	287,33	3,8522	24,873	7,1639
130	403,15	404,51	288,78	3,9204	24,561	7,1689
132	405,15	406,54	290,24	3,9896	24,256	7,1739
134	407,15	408,57	291,69	4,0596	23,955	7,1789
136	409,15	410,60	293,15	4,1305	23,659	7,1839
138	411,15	412,63	294,60	4,2023	23,369	7,1888
140	413,15	414,66	296,06	4,2750	23,083	7,1938
142	415,15	416,69	297,52	4,3487	22,802	7,1987
144	417,15	418,72	298,97	4,4233	22,525	7,2035
146	419,15	420,75	300,43	4,4988	22,254	7,2084
148	421,15	422,78	301,89	4,5752	21,986	7,2132
150	423,15	424,82	303,35	4,6526	21,723	7,2181

Задание 2.5

Начальные параметры водяного пара (реальный газ), поступающего к соплу $p_0 = 8$ МПа и $t_0 = 520$ °C. Давление среды $p_{ср} = 6$ МПа. Выберите тип сопла и определите температуру на выходе из сопла.

t	p= 7,0 МПа			p= 7,5 МПа			p= 8,0 МПа			p= 8,5 МПа		
	$t_{нас}$ = 285,83			$t_{нас}$ = 290,54			$t_{нас}$ = 295,01			$t_{нас}$ = 299,27		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
500	0,048159	3411,3	6,7997	0,044751	3405,3	6,7620	0,041769	3399,4	6,7264	0,039137	3393,4	6,6925
510	0,048931	3435,5	6,8308	0,045481	3429,8	6,7935	0,042461	3424,1	6,7581	0,039795	3418,3	6,7245
520	0,049697	3459,6	6,8614	0,046204	3454,1	6,8244	0,043147	3448,6	6,7893	0,040448	3443,1	6,7560
530	0,050458	3483,6	6,8916	0,046922	3478,4	6,8547	0,043827	3473,1	6,8199	0,041095	3467,8	6,7869
540	0,051214	3507,6	6,9212	0,047635	3502,6	6,8847	0,044502	3497,5	6,8501	0,041737	3492,4	6,8173

t	p= 5,0 МПа			p= 5,5 МПа			p= 6,0 МПа			p= 6,5 МПа		
	$t_{нас}$ = 263,94			$t_{нас}$ = 269,97			$t_{нас}$ = 275,59			$t_{нас}$ = 280,86		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
450	0,063325	3317,0	6,8208	0,057241	3309,9	6,7693	0,052168	3302,8	6,7216	0,047874	3295,5	6,6771
460	0,064391	3340,7	6,8532	0,058225	3333,9	6,8022	0,053085	3327,0	6,7550	0,048733	3320,1	6,7109
470	0,065450	3364,2	6,8851	0,059201	3357,7	6,8345	0,053993	3351,2	6,7877	0,049583	3344,6	6,7440
480	0,066501	3387,7	6,9165	0,060170	3381,5	6,8663	0,054893	3375,2	6,8198	0,050425	3368,9	6,7765
490	0,067545	3411,1	6,9474	0,061132	3405,1	6,8975	0,055785	3399,1	6,8513	0,051260	3393,1	6,8084

Задание 2.6

Заданы параметры водяного пара $P = 8$ МПа, $h = 1605{,}4\,\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Определите степень сухости водяного пара, если известно, что при данном давлении энтальпии насыщенного водяного пара $h' = 1317{,}08$ кДж/кг и $h'' = 2758{,}6$ кДж/кг.

Задание 2.7

Водяной пар в состоянии кипящей жидкости массой 3 кг расширяется изотермически, $t = 150$ °C . Какое количество теплоты необходимо подвести к пару, чтобы его перевести в состояние сухого насыщенного пара.

Размерности величин в таблице:

t, °C - *температура* ;p, МПа – *абсолютное давление;* v', v'', $^{м^3}/_{кг}$ – *удельный объем;*

h', h'', кДж/кг – *энтальпия;* r, кДж/кг - *теплота парообразования;*
s', s'', кДж/(кг · К) – *энтропия*

t	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	s''-s'
150	0,47610	0,0010905	0,39250	632,25	2745,9	2113,7	1,8420	6,8370	4,9951
151	0,48900	0,0010916	0,38274	636,57	2747,1	2110,5	1,8521	6,8281	4,9759
152	0,50218	0,0010927	0,37327	640,89	2748,3	2107,4	1,8623	6,8191	4,9569
153	0,51564	0,0010939	0,36408	645,22	2749,5	2104,3	1,8724	6,8102	4,9378
154	0,52938	0,0010950	0,35516	649,55	2750,6	2101,1	1,8825	6,8014	4,9189

Задание 2.8

Какое удельное количество теплоты нужно подвести к воде в изобарном процессе при p=2 МПа, чтобы его состояние изменилось от кипящей жидкости до сухого насыщенного пара. Процесс изобразите в p,v- диаграмме.

Для решения задачи выберите необходимые данные из приведенных ниже параметров:

$h' = 908{,}6$ кДж/кг и $h'' = 2798{,}4$ кДж/кг при p=$2\cdot10^6$ Па
$s' = 2{,}4470$ кДж/кг и $s'' = 6{,}3392$ кДж/кг при p=$2\cdot10^6$ Па
$h' = 504{,}68$ кДж/кг и $h'' = 2706{,}2$ кДж/кг при p=$2\cdot10^5$ Па
$s' = 1{,}5301$ кДж/кг и $s'' = 7{,}1269$ кДж/кг при p=$2\cdot10^5$ Па
$h' = 73{,}43$ кДж/кг и $h'' = 2532{,}9$ кДж/кг при p=$2\cdot10^3$ Па
$s' = 0{,}2606$ кДж/кг и $s'' = 8{,}7227$ кДж/кг при p=$2\cdot10^3$ Па

Задание 2.9

Водяной пар с параметрами $p_1 = 15$ МПа и $t_1 = 500$ °C расширяется обратимо адиабатно до давления $p_2 = 4{,}8$ МПа. Определите удельную техническую работу в этом процессе (в задаче допускается опустить интерполяцию и выбрать близкое табличное значение). Процесс изобразите в T,s- диаграмме.

Размерности величин в таблице:

t, °C - *температура* ;p, МПа – *абсолютное давление;* v', v'', $^{м^3}/_{кг}$ – *удельный объем;*

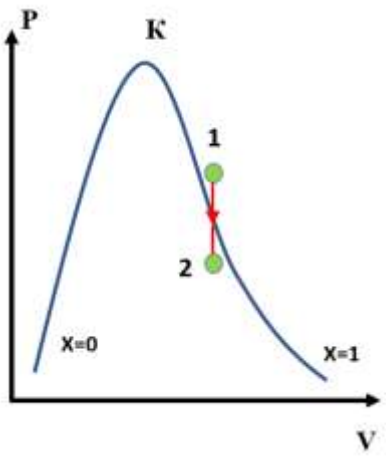
h', h'', кДж/кг – *энтальпия;* r, кДж/кг - *теплота парообразования;*
s', s'', кДж/(кг · К) – *энтропия*

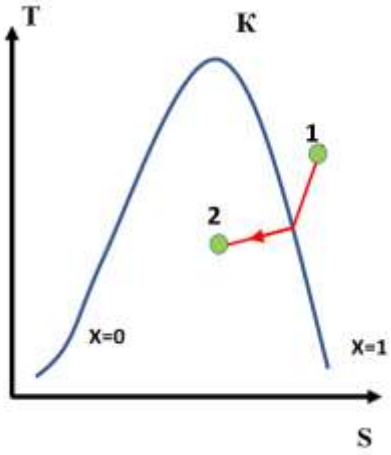
t	p= 15,0 МПа			p= 16,0 МПа			p= 17,0 МПа			p= 18,0 МПа		
	$t_{нас}$ = 342,16			$t_{нас}$ = 347,36			$t_{нас}$ = 352,29			$t_{нас}$ = 356,99		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
500	0,020828	3310,8	6,3479	0,019324	3297,3	6,3045	0,017994	3283,6	6,2627	0,016810	3269,7	6,2222
510	0,021267	3339,5	6,3848	0,019745	3326,7	6,3423	0,018401	3313,7	6,3014	0,017204	3300,5	6,2618
520	0,021696	3367,8	6,4207	0,020158	3355,6	6,3790	0,018798	3343,2	6,3389	0,017589	3330,7	6,3002
530	0,022119	3395,7	6,4556	0,020563	3384,1	6,4146	0,019188	3372,3	6,3752	0,017966	3360,4	6,3373
540	0,022535	3423,2	6,4897	0,020961	3412,1	6,4494	0,019571	3400,9	6,4106	0,018335	3389,5	6,3734

t	p= 4,2 МПа			p= 4,4 МПа			p= 4,6 МПа			p= 4,8 МПа		
	$t_{нас}$ = 253,27			$t_{нас}$ = 256,07			$t_{нас}$ = 258,78			$t_{нас}$ = 261,40		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
нас. вода	*0,0012595*	*1101,6*	*2,8232*	*0,0012663*	*1115,4*	*2,8488*	*0,0012730*	*1128,8*	*2,8736*	*0,0012797*	*1141,8*	*2,8975*
нас. пар	*0,047333*	*2799,9*	*6,0492*	*0,045103*	*2798,7*	*6,0294*	*0,043060*	*2797,3*	*6,0103*	*0,041181*	*2795,8*	*5,9917*
250	0,0012513	1085,7	2,7928	0,0012510	1085,7	2,7924	0,0012506	1085,7	2,7919	0,0012502	1085,7	2,7914
260	0,048707	2826,1	6,0989	0,045894	2814,6	6,0595	0,043303	2802,5	6,0200	0,0012759	1134,8	2,8844
270	0,050600	2861,7	6,1649	0,047775	2851,8	6,1286	0,045181	2841,5	6,0926	0,042787	2830,9	6,0569
280	0,052371	2894,4	6,2246	0,049521	2885,7	6,1905	0,046907	2876,8	6,1569	0,044500	2867,6	6,1238
290	0,054052	2925,3	6,2800	0,051169	2917,5	6,2475	0,048528	2909,5	6,2156	0,046099	2901,4	6,1843
300	0,055663	2954,7	6,3318	0,052742	2947,7	6,3006	0,050069	2940,5	6,2701	0,047613	2933,1	6,2402
310	0,057216	2983,0	6,3808	0,054256	2976,6	6,3506	0,051548	2970,0	6,3212	0,049060	2963,4	6,2925
320	0,058723	3010,4	6,4273	0,055720	3004,5	6,3981	0,052975	2998,5	6,3696	0,050454	2992,4	6,3419
330	0,060190	3037,1	6,4719	0,057144	3031,6	6,4434	0,054359	3026,1	6,4157	0,051803	3020,4	6,3887
340	0,061623	3063,1	6,5147	0,058532	3058,0	6,4868	0,055707	3052,9	6,4598	0,053114	3047,6	6,4335

Задание 2.10

Укажите какой тип процесса 1-2 представлен линией на графиках в p,v- и T,S-диаграммах. В каком состоянии находится водяной пар в т.1 и т.2





Пример выполнения задания 2.1

Решение

1. По начальной температуре газа $t_1 = 360$ °C по таблице термодинамических свойств находим:

относительное давление $\pi_{01} = 19{,}881$

удельная энтальпия $h_1 = 642{,}38$ $^{кДж}/_{кг}$

2. Относительное давление в конце адиабатного сжатия

$$\pi_{02} = 19{,}881 \cdot \frac{p_2}{p_1} = 19{,}881 \cdot \frac{1{,}16}{2{,}0} = 11{,}53$$

3. По термодинамическим таблицам по относительному давлению определяем параметры газа в конце процесса адиабатного сжатия

$$h_2 = 550{,}10 + \frac{11{,}53 - 11{,}51}{11{,}664 - 11{,}51} \cdot (552{,}17 - 550{,}10) = 550{,}37 \ ^{кДж}/_{кг}$$

4. Техническая работа

$$L = m \cdot l_{тех} = m \cdot (h_1 - h_2) = 1 * (642{,}38 - 550{,}37) = 92{,}01 \text{ кДж.}$$

Ответ: $L = 92{,}01$ кДж.

Задание экзаменационного билета № 3 (10 баллов)

Задание 3.1

Стенка топочной камеры парового котла выполнена из слоя хромитового кирпича толщиной 140 мм и слоя красного кирпича толщиной 500 мм. Слои плотно прилегают друг к другу. Температура на внутренней поверхности топочной камеры 1200 °С, на наружной поверхности 40 °С. Коэффициент теплопроводности хромитового кирпича 0,521 Вт/(м·К), красного кирпича 0,77 Вт/(м·К). Вычислить тепловые потери через 1 $м^2$ стенки топочной камеры и температуру в плоскости соприкосновения слоев.

Задание 3.2

Закрытый бак диаметром 1,5 м и высотой 2 м покрыт тепловой изоляцией. Стенка бака стальная, толщиной 8 мм, с коэффициентом теплопроводности 46,5 Вт/(м·К). Слой изоляции выполнен из новоасбозурита толщиной 50 мм, коэффициент теплопроводности которого равен 0,172 Вт/(м·К). Температуры внутренней поверхности стенки бака 250 °С и внешней поверхности изоляции 50 °С. Вычислить количество теплоты, передаваемой через стенку.

Задание 3.3

Стенка неэкранированной топочной камеры парового котла выполнена из слоя шамотного кирпича толщиной 140 мм и слоя красного кирпича толщиной 530 мм. Слои плотно прилегают друг к другу. Плотность теплового потока, проходящего через стенку 1300 Вт/$м^2$. Температура на внутренней поверхности топочной камеры 1200 °С. Найти температуру на наружной поверхности топочной камеры. Коэффициент теплопроводности шамотного кирпича λ=1,524 Вт/(м·К), красного кирпича 0,7 Вт/(м·К).

Задание 3.4

Железобетонный бак покрыт тепловой изоляцией. Толщина стенки бака 10 мм, коэффициентом теплопроводности железобетона 1,28 Вт/(м·К). Слой изоляции выполнен из шлаковой ваты толщиной 50 мм с коэффициентом теплопроводности λ=0,069 Вт/(м·К). Температуры внутренней поверхности стенки бака 270 °С и внешней поверхности изоляции 50 °С. Вычислить температуру на границах слоев изоляции.

Задание 3.5

По стальному паропроводу внутренним диаметром 250 мм и толщиной стенки 8 мм протекает пар с температурой 450°С. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 150 мм, коэффициент теплопроводности которой 0,1 Вт/(м·К). Температуру внутренней стенки паропровода принять равной температуре пара. Температура наружной поверхности изоляции 50 °С. Коэффициент теплопроводности стали принять равным 35 Вт/(м·К). Найти тепловые потери с 1 погонного метра трубопровода

Задание 3.6

По стальному трубопроводу внутренним диаметром 350 мм и толщиной стенки 12 мм протекает горячая вода с температурой 150°С. Трубопровод покрыт слоем изоляции толщиной 100 мм, коэффициент теплопроводности которой 0,067 Вт/(м·К). Температуру внутренней стенки трубопровода принять равной температуре горячей воды. Температура наружной поверхности изоляции 50 °С. Коэффициент теплопроводности стали принять равным 15 Вт/(м·К). Найти температуру на внутренней поверхности изоляции.

Задание 3.7

По стальному трубопроводу внутренним диаметром 150 мм и толщиной стенки 6 мм протекает горячая вода с температурой 130 °С. Трубопровод покрыт слоем изоляции толщиной 50 мм с коэффициентом теплопроводности 0,067 Вт/(м·К). Температуру внутренней стенки трубопровода принять равной температуре горячей воды. Тепловые потери с 1 погонного метра трубы составляют 70 Вт/м. Коэффициент теплопроводности стали принять равным 42 Вт/(м·К). Найти температуру на наружной поверхности изоляции.

Задание 3.8

По стальному (коэффициент теплопроводности 40 Вт/(м·К)) изолированному трубопроводу диаметром 76/63 мм течет хладагент, температура которого -20°С. Температура воздуха в помещении, где проходит трубопровод, 20°С. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха 10 Вт/(м^2·К), со стороны хладагента 1000 Вт/(м^2·К). Найти потерю холода с 1 погонного метра трубопровода, если трубопровод покрыть слоем изоляции толщиной 50 мм с коэффициентом теплопроводности 0,07 Вт/(м·К).

Задание 3.9

Найти температуру наружной поверхности слоя изоляции стального (коэффициент теплопроводности 15 Вт/(м·К)) изолированного трубопровода диаметром 108/102 мм. По трубопроводу течет вода с температурой 150 °С. Температура воздуха в помещении, где проходит трубопровод, 18 °С. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха 12 Вт/(м^2·К), со стороны воды 1200 Вт/(м^2·К). Толщина слоя изоляции 50 мм с коэффициентом теплопроводности 0,081 Вт/(м·К).

Задание 3.10

Температура поверхности трубы паропровода наружным диаметром 75 мм равна 200°С. Какой будет температура наружной поверхности изоляции, имеющей коэффициент теплопроводности 0,15 Вт(м·К), и толщиной 80 мм? Температура окружающего воздуха 20°С. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к окружающей среде 16 Вт/(м^2·К).

Пример выполнения задания 3.6

Дано:

$\lambda_1 = 15$ Вт/(м · К)

$\lambda_2 = 0{,}067$ Вт/(м · К)

$d_1 = 350$ мм

$\delta_1 = 12$ мм

$\delta_2 = 100$ мм

$t_{ст1} = 150$°С

$t_{ст2} = 50$°С

Решение:

1. Размеры трубопроводы с изоляцией

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot \delta_1 = 350 + 2 \cdot 12 = 374 \text{ мм};$$
$$d_3 = d_2 + 2 \cdot \delta_2 = 374 + 2 \cdot 100 = 574 \text{ мм}.$$

2. Линейная плотность теплового потока для двухслойной цилиндрической стенки при граничных условиях первого рода

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_{ст1} - t_{ст2})}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln\frac{d_3}{d_2}} =$$

$$= \frac{3{,}14 \cdot (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2})}{\frac{1}{2 \cdot 15} \cdot \ln\frac{0{,}374}{0{,}35} + \frac{1}{2 \cdot 0{,}067} \cdot \ln\frac{0{,}574}{0{,}374}} = 98{,}205 \text{ Вт/м.}$$

3. Температура на внутренней поверхности изоляции

$$t_{\text{ст}3} = t_{\text{ст}2} + \frac{q_l}{2 \cdot \lambda_2 \cdot \pi} \cdot \ln\frac{d_3}{d_2} = 50 + \frac{98{,}205}{2 \cdot 0{,}067 \cdot 3{,}14} \cdot \ln\frac{0{,}574}{0{,}374} = 149{,}9 \text{ °C}$$

Ответ: 149,9 °С.

Задание экзаменационного билета № 4 (10 баллов)

Задание 4.1
Между двумя параллельными поверхностями, одна из которых выполнена из шамотного кирпича со степенью черноты 0,78, а вторая из красного кирпича со степенью черноты 0,93, помещен плоский экран из алюминия со степенью черноты 0,13. Температура поверхности шамотного кирпича 180 °С, а поверхности красного кирпича 45 °С. Определить плотность теплового потока излучением между поверхностями.

Задание 4.2
Определить число экранов, которые необходимо поместить между двумя параллельными пластинами со степенью черноты 0,8, чтобы результирующий лучистый поток от одной поверхности к другой уменьшился в 79 раз. Принять, что температуры поверхностей после установки экранов не изменяются. Степень черноты экранов 0,05.

Задание 4.3
В кирпичном канале размером 0,4х0,4 м находится стальная труба диаметром 125 мм. Температура поверхности трубы 180 °С, степень черноты наружной поверхности трубы 0,72. Температура внутренней поверхности кирпичной стенки 42 °С, степень черноты стенки 0,81. Определить потери теплоты путем излучения одного погонного метра трубы.

Задание 4.4
Система «труба в трубе» состоит из двух трубопроводов: внутренний трубопровод диаметром 70 мм со степенью черноты 0,72 и температурой поверхности 310 °С; наружный трубопровод диаметром 300 мм, степенью черноты 0,92 и температурой поверхности 100 °С. Определить плотность теплового потока на один погонный метр наружного трубопровода.

Задание 4.5
Определить температуру нихромовой проволоки диаметром 1 мм, по которой проходит электрический ток силой 8 А. Выделяющаяся теплота отводится излучением. Удельное сопротивление нихрома $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом м, степень черноты проволоки равна 0,8. Температура окружающей среды равна 10 °С. Рассчитать температуру проволоки.

Задание 4.6
Трубопровод диаметром 150 мм, длиной 10 м проложен в помещении, температура которого равна 18 °С. Найти потерю холода, вызванную излучением, если температура на поверхности трубопровода равна 7 °С. Принять степень черноты поверхности трубопровода равной 0,95.

Задание 4.7

Две близко расположенные друг к другу пластины с температурами 220 °С и 80 °С и степенью черноты соответственно 0,15 и 0,9 обмениваются лучистой энергией. Определить плотность результирующего теплового потока между пластинами.

Задание 4.8

Найти плотность результирующего теплового потока между двумя коаксиальными цилиндрами. Температура, диаметр и степень черноты внутреннего цилиндра, соответственно: 440 °С, 50 мм, 0,8. Температура, диаметр и степень черноты наружного цилиндра, соответственно: 120 °С, 200 мм, 0,4.

Задание 4.9

Трубопровод с наружным диаметром 150 мм расположен в центре квадратного канала со стороной 600 мм. Степень черноты трубопровода 0,75, температура его поверхности 520 °С, степень черноты стенок канала 0,83, температура стенок 120 °С. Найти потери теплоты с одного погонного метра трубопровода.

Задание 4.10

Температура наружной поверхности стальной топочной камеры 237 °С, а температура внутренней поверхности теплового изолятора из шамотного кирпича 37 °С. Излучательную способность стали принять равной 0,6, излучательную способность шамота принять равной 0,8. Определить тепловые потери излучением в зазоре между камерой и её изолятором.

Пример выполнения задания 4.1

Дано:

$\varepsilon_1 := 0.78 \quad t_1 := 180\ °C$

$$T_1 = t_1 + 273 = 180 + 273 = 453\ K.$$

$\sigma_0 := 5.67 \cdot 10^{-8}\ \dfrac{W}{m^2 \cdot K^4}$

$\varepsilon_2 := 0.93 \quad t_2 := 45\ °C$

$$T_2 = t_2 + 273 = 45 + 273 = 318\ K.$$

$\varepsilon_э := 0.13 \quad n := 1$

Решение:

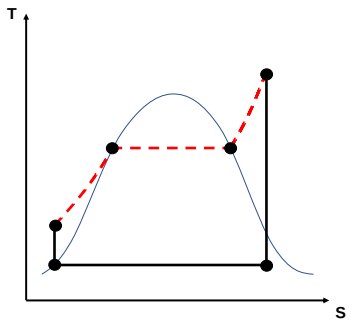
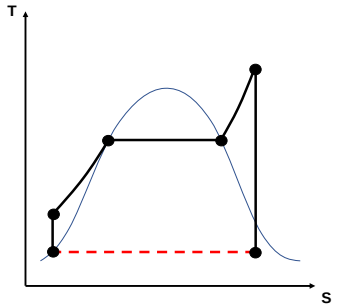
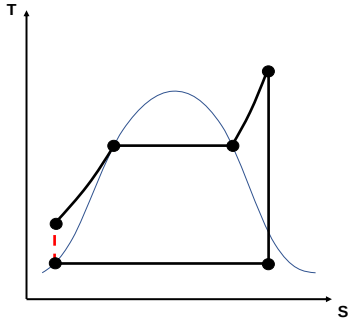
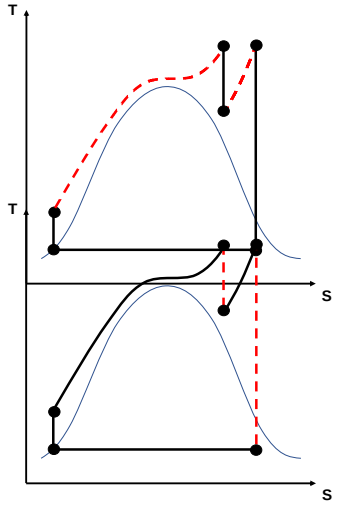
1. Приведенная степень черноты системы двух плоских параллельных пластин с расположенным между ними одним экраном
$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} - 1 + n \cdot \left(\dfrac{2}{\varepsilon_э} - 1\right)} = 0{,}064$$
2. Плотность теплового потока излучением между поверхностями
$$q = \varepsilon_{пр} \cdot \sigma_0 \cdot (T_1^4 - T_2^4) =$$
$$= 0{,}064 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (453^4 - 318^4) = 114{,}975\ Вт/м^2$$

Ответ: $q = 114{,}975\ Вт/м^2$.

Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру

Блок №1 ТЭС: схемы, системы и агрегаты

Задание экзаменационного билета № 1.1 (6 баллов)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
1.1.1	Укажите на термодинамическом цикле Ренкина процесс, характеризующий работу парового котла докритического давления.	1.  2.  3.  4.  5.	

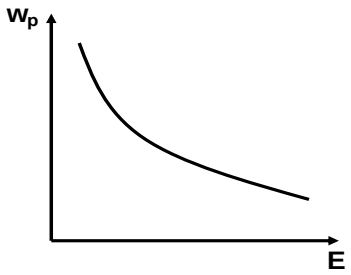
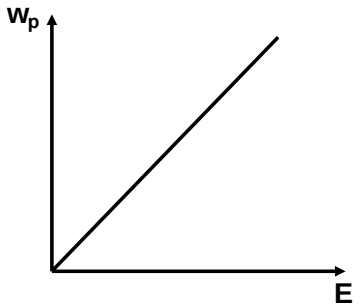
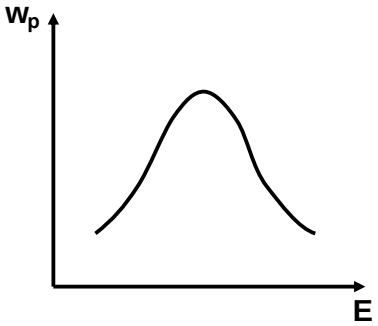
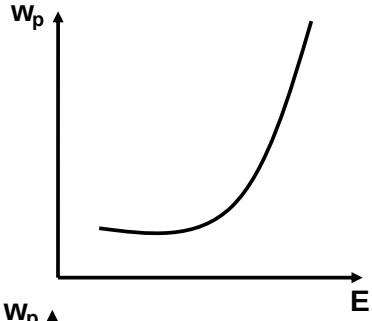
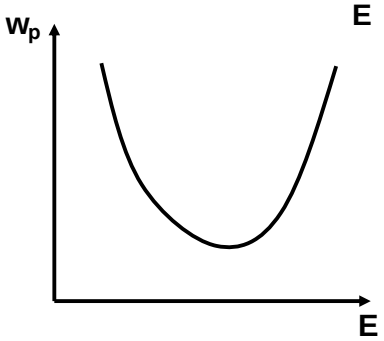
1.1.2	Выберете ложное утверждение.	1. Паровой котел — это техническое сооружение, в котором для получения пара требуемых параметров используют теплоту выделяющегося при сгорании органического топлива. 2. Паровой котел представляет собой систему теплообменников для производства пара из непрерывно поступающей в него воды путем использования тепла, выделяющегося при сжигании топлива, которое подается в топку вместе с необходимым для горения воздухом. 3. Паровой котел предназначен для преобразования потенциальной энергии рабочей среды в полезную работу термодинамического цикла Ренкина. 4. Поверхности нагрева - предназначены для передачи теплоты от образующихся при сжигании топлива уходящих газов к воде, пароводяной смеси, пару или воздуху. 5. Поверхности нагрева подразделяются на радиационные, конвективные и радиационно-конвективные (полурадиационные).	
1.1.3	Выберете верное продолжение утверждения «Газовоздушный тракт с уравновешенной тягой включает следующее вспомогательное оборудование:…»	1. Дутьевой вентилятор, дымосос, циркуляционный насос. 2. Дутьевой вентилятор, фестон, дымовая труба. 3. Система пылеприготовления, золоуловитель, система шлакоудаления, дымовая труба. 4. Воздухоподогреватель, топочная камера, горизонтальный газоход, конвективная шахта. 5. Дутьевой вентилятор, калорифер, дымосос, система газоочистки, дымовая труба.	
1.1.4	Выберете верное утверждение. «Котлы высокого давления - …»	1. до 40 кгс/см2 2. 40–100 кгс/см2 3. 100–180 кгс/см2 4. 255 кгс/см2 5. >300 кгс/см2	
1.1.5	Укажите классификацию котлов по расположению теплоносителей внутри котла.	1. Газотрубные котлы; водотрубные котлы. 2. Паровые; водогрейные. 3. Котлы с естественной циркуляцией; с многократно принудительной	

		циркуляцией; прямоточные котлы. 4. Котлы с уравновешенной тягой; под наддувом. 5. Твёрдотопливные; газовые; сжигающие жидкое топливо; комбинированные.	
1.1.6	Выберете верное продолжение утверждения: «Барабан в паровых котлах докритического давления предназначен для…»	1. Перегрева пара до требуемых параметров. 2. Удаления агрессивных газов. 3. Сепарации воды и водяного пара. 4. Повышения термического КПД цикла. 5. Организации промежуточного перегрева пара.	
1.1.7	Выберете верный ответ. Какая поверхность нагрева состоит из змеевиков?	1. Конвективный пароперегреватель низкого давления. 2. Трубчатый воздухоподогреватель. 3. Экраны топочной камеры. 4. Ширмовый пароперегреватель. 5. Регенеративный воздухоподогреватель.	
1.1.8	Выберете верное продолжение утверждения: «Плавниковые трубы используются для…»	1. Организации движения воздуха в регенеративном воздухоподогревателе. 2. Создания газоплотного экрана топочной камеры. 3. Повышения эффективности системы шлакоудаления. 4. Защиты ширмового пароперегревателя от шлакования. 5. Повышения кратности циркуляции.	
1.1.9	Выберете верное продолжение утверждения: «Холодная воронка предназначена для…»	1. Снижения присосов холодного воздуха. 2. Организации жидкого шлакоудаления. 3. Организации факельного сжигания топлива. 4. Защиты топочных экранов. 5. Организации твердого шлакоудаления.	
1.1.10	Ответьте на вопрос. Какое вспомогательное оборудование обеспечивает движение среды в контуре принудительной циркуляции барабанного котла происходит?	1. Питательный насос. 2. Тягодутьевые машины. 3. Выносные циклоны. 4. Конденсатные насосы. 5. Верного ответа нет.	

Задание экзаменационного билета № 1.2 (6 баллов)

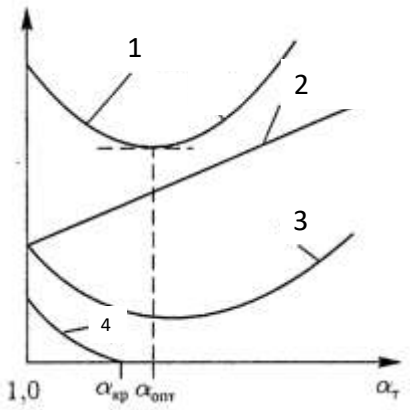
№	Задание	Варианты ответа	Ответ

1.2.1	Выберете верное продолжение утверждения «Присосы холодного воздуха…»	1. Способствуют снижению коэффициента избытка воздуха в уходящих газах. 2. В топочной камере приводят к увеличению нагрузки дутьевого вентилятора в газов-воздушном тракте, работающем «под наддувом». 3. Приводят к увеличению паропроизводительности котла. 4. Снижают эффективность работы котла. 5. Способствуют повышению теоретического объема воздуха.	
1.2.2	Массовое паросодержание на выходе из труб топочных экранов барабанного котла x=0.1. Чему равна кратность циркуляции контура?	1. 1 2. 100 3. 10 4. 1,05 5. 0,9	
1.2.3	Выберите элементарный состав топлива, определяемый термином «сухая масса»	1. CHONSAW 2. CONSAW 3. CHONSA 4. CHONSW 5. CHONS	
1.2.4	Термин «тепловое напряжения сечения топки» используется для:	1. Определения количества теплоты, падающее на поверхности нагрева топочных экранов. 2. Для определения высоты топочной камеры. 3. Для определения искривления аэродинамического выступа. 4. Для определения глубины топочной камеры. 5. Для расчета низшей теплоты сгорания топлива.	
1.2.5	Кислородомер на выходе из котла показывает 4,2% в уходящих газах. Каков избыток воздуха?	1. 4,2 2. 0,75 3. 1,235 4. 1,766 5. 1,42	

1.2.6	Укажите верную зависимость скорости реакции горения w_p от энергии активации E.	1.  2.  3.  4.  5. 	
1.2.7	Чем отличается понятие «движущий напор контура» от понятия «полезный напор контура»?	1. Полезный напор контура учитывает динамические сопротивления контура, в то время как движущий напор этого не учитывает 2. Полезный напор контура учитывает	

		паросодержание в котловой воде в отличие от движущего 3. Движущий напор является базовой характеристикой, в то время как понятие полезный напор является частным случаем при расчете контура 4. Понятие «движущего напора» относится к котлам с естественной циркуляцией, когда понятие «полезного напора» к котлам с принудительной 5. Движущий напор учитывает высоту отдельных участков элементов контура, в то время как полезный напор этого не учитывает	
1.2.8	Низкотемпературная коррозия возникает:	1. В топочной камере при высокой сернистости топлива из-за недостатка воздуха. 2. В воздухоподогревателе при высокой сернистости топлива из-за совместной конденсации поров воды и оксида серы. 3. В калорифере из-за низкой температуры подогреваемого воздуха. 4. В экономайзере при спорадическом кипении теплоносителя. 5. В горизонтальном газоходе при работе котла на мазуте.	
1.2.9	Выберете верное продолжение утверждения «Шлакования поверхностей нагрева в горизонтальном газоходе исключается, если…»	1. Температура продуктов сгорания на выходе из топочной камеры выше температуры начала шлакования. 2. Температура продуктов сгорания в зоне активного горения больше температуры начала шлакования. 3. Температура продуктов сгорания на выходе из топочной камеры ниже температуры начала шлакования. 4. Используется футеровка топочных экранов. 5. Верного ответа нет.	
1.2.10	Как изменится скорость циркуляции $w_0^{\text{р}}$, если воспринятый тепловой поток трубами экранов топочной камеры упадет $q_{\text{в}}$ ↓?	1. Не изменится. 2. Увеличится. 3. Уменьшится.	

Задание экзаменационного билета № 1.3 (6 баллов)

№	Задание	Варианты ответа	Ответ
1.3.1	По какому из приведенных уравнений можно рассчитать КПД прямоточного котла по прямому балансу КПД?	1. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})+D_{вт}(h_{вт}''-h_{вт}')}{B_к Q_н^р}$; 2. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})+D_{вт}(h_{вт}''-h_{вт}')+G_{пр}(h_s-h_{пв})}{B_к Q_н^р}$; 3. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})}{B_к Q_н^р}$; 4. $\eta = \frac{D_{пе}(h_{пе}+h_{пв})+D_{вт}(h_{вт}''-h_{вт}')+G_{пр}(h_s-h_{пв})}{Q_н^р}$; 5. $\eta = \frac{D(h_{вт}''-h_{вт}')+G_{пр}(h_s-h_{пв})}{B_к Q_н^р}$.	
1.3.2	Какая кривая показывает зависимость тепловых потерь с химическим недожогом от коэффициента избытка воздуха на выходе из топки?  	1. 1 2. 2 3. 3 4. 4 5. Верного ответа нет.	
1.3.3	Энтальпия уходящих газов Нух=1653 кДж/кг, энтальпия холодного воздуха Нхв=342 кДж/кг, располагаемая теплота сгорания топлива Qрр=23400 кДж/кг. Чему равны потери тепла с уходящими газами?	1. 6,5% 2. 63,6% 3. 17,85% 4. 5,6% 5. 24,2%	

1.3.4	Что учитывает располагаемая теплота сгорания топлива?	1. Тепло воздуха при его предварительном подогреве вне котла (в калорифере) $Q_{внш}$ 2. Физическое тепло топлива при его предварительном подогреве вне котла (для мазута) $Q_{тл}$ 3. Физическое тепло пара, поступающего в форсунки $Q_{п}$ 4. Тепло, затрачиваемое на разложение карбонатов, содержащихся в золе $Q_{к}$. 5. Все вышеперечисленное.	
1.3.5	Барабан котла имеет две перегородки (по одной с каждой стороны) и по два циклона, соединенных последовательно с барабаном и между собой. Сколько ступеней испарения реализовано в котле?	1. 1 2. 2 3. 3 4. 4 5. 5	
1.3.6	Выберете верное продолжение утверждения: «Тепловые потери с механическим недожогом с ростом коэффициента избытка воздуха на выходе из топки…»	1. Не изменятся. 2. Увеличатся. 3. Уменьшатся. 4. Сначала уменьшатся, затем увеличатся. 5. Сначала увеличатся, затем уменьшатся.	
1.3.7	Назначение инерционной сепарации.	1. Разделение воды и шлама в двухфазном потоке; 2. Разделение воды и пара а пузырьковом режиме; 3. Сепарация воды и пара при растопке котла СКД 4. Сепарация воды и пара в пароперегревательном тракте; 5. Сепарация воды и пара в парокапельном потоке	
1.3.8	Выберете верное продолжение утверждения: «Коэффициент распределения примесей в двухфазной равновесной системе показывает…»	1. Отношение концентрации растворенного вещества в паре к концентрации растворенного вещества в воде. 2. Произведение коэффициента выноса примесей в пар и концентрации растворенного вещества в воде. 3. Отношение массового расхода пара и воды. 4. Отношение объемного расхода пара и воды. 5. Произведение концентрации растворенного вещества в паре и массового расхода пара.	

1.3.9	Выберете верное продолжение утверждения: «Доля тепловых потерь через обмуровку котла с увеличением номинальной паропроизводительности…»	1. Не меняется. 2. Увеличивается. 3. Уменьшается. 4. Сначала увеличивается, затем уменьшается. 5. Сначала уменьшается, затем увеличивается.	
1.3.10	Выберете верное продолжение утверждения: «Непрерывная продувка в барабанных котлах предназначена для…»	1. Регулирования температуры перегретого пара. 2. Поддержания качества котловой воды. 3. Сепарации воды и водяного пара. 4. Поддержания качества питательной воды. 5. Увеличения концентрации примесей в паре.	

Пример выполнения задания 1.2.4
1. Ответ неверный: приведено значение плотности теплового потока на единицу площади поверхности нагрева
2. Ответ неверный: для определения высоты ТК используется величина теплового напряжения объема ТК
3. Ответ неверный: профиль аэродинамического выступа рассчитывается путем математического моделирования аэродинамики ТК
4. Ответ верный.
5. Ответ неверный: низшая теплота сгорания топлива является исходной для расчета теплового напряжения сечения ТК, а не наоборот.

Задание экзаменационного билета № 1.4 (6 баллов)

1.4.1 Выброс каких загрязняющих веществ сильно зависит от режима сжигания топлива? Ответ обосновать.
1. SO_2, зола;
2. NO_x, CO;
3. CO, SO_2;
4. NO_x, SO_2.

1.4.2 Какие загрязняющие вещества образуются при сжигании природного газа? Ответ обосновать.
1. SO_2, зола;
2. NOx, CO;
3. CO, SO_2;
4. NO_x, SO_2.

1.4.3 Какие загрязняющие вещества выбрасываются в атмосферу при сжигании угля? Ответ обосновать.
1. SO_2, зола;
2.NO_x, CO;
3.CO, SO_2.
4. NO_x, SO_2, зола.

1.4.4 Для каких метеорологических условий рассчитывается высота дымовых труб? Ответ обосновать.
1. Для среднегодовых;
2. Для аномальных;
3. Для типичных;
4. Для неблагоприятных.

1.4.5 Если на ТЭС вместо двух дымовых труб установить одну такой же высоты, как изменятся максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ, создаваемые выбросами ТЭС? Ответ обосновать.
1. Останутся без изменения;
2. Возрастут;
3. Снизятся.

1.4.6 Что понимается под выбросами NO_x? Ответ обосновать.
1. $NO+ NO_2+ N_2O+N_2O_5$;
2. $NO+ NO_2+ N2O$;
3. NO и NO_2 в пересчете на NO_2;
4. $N_2O+ NO_2$ в пересчете на NO_2.

1.4.7. Какой механизм образования оксидов азота преобладает при сжигании твердого топлива в топке с твердым шлакоудалением? Ответ обосновать
1. Механизм образования топливных оксидов азота;
2. Механизм образования термических оксидов азота;
3. Механизм образования быстрых оксидов азота.

1.4.8 Массовый выброс оксидов азота не зависит от:
1. От температуры уходящих газов;
2. От избытка воздуха в зоне горения;
3. От максимальной температуры в зоне горения.

1.4.9 Выбросы оксидов серы в атмосферу зависят:
1. От температуры в зоне горения;
2. От избытка воздуха в зоне горения.
3. От содержания серы в топливе;
4. От температуры и от избытка воздуха в зоне горения.

1.4.10. Как изменятся выбросы оксидов азота при переводе котла с жидкого на твердое шлакоудаление при прочих равных условиях? Ответ обосновать
1. Выбросы NO_x возрастут;
2. Выбросы NO_x снизятся;
3. Выбросы NO_x не изменятся.

Задание экзаменационного билета № 1.5 (6 баллов)

Задание 1.5.1 Какой тип золоуловителей применяется на котлах большой мощности? Ответ обосновать.
1. Батарейный циклон;
2. Электрофильтр;
3. Мокрый золоуловитель с трубой Вентури.

Задание 1.5.2 Какие частицы золы хуже улавливаются в электрофильтре? Ответ обосновать.
1. Крупные;
2. Мелкие;
3. Одинаково.

Задание 1.5.3 При сжигании какого вида топлива применение рециркуляции дымовых газов не эффективно для снижения выбросов оксидов азота? Ответ обосновать.
1. Угля;
2. Мазута;
3. Угля и мазута;
4. Природного газа.

Задание 1.5.4 Какая система водоснабжения обеспечивает более высокий коэффициент полезного действия на ТЭС?
1. Оборотная с градирнями;
2. Оборотная с прудом охладителем;
3. Прямоточная;
4. С брызгальными устройствами.

Задание 1.5.5 Какой период осреднения устанавливается для максимально-разовых ПДК в нашей стране?
1. 1 секунда;
2. 20 секунд;
3. 10 минут;
4. 20-30 минут;
5. 1 час.

Задание 1.5.6 Как изменится выброс золы в атмосферу, если степень золоулавливания повысилась с 90 до 99 %?
1. Снизится на 9 %;
2. Снизится в 9 раз;
3. Снизится в 10 раз.

Задание 1.5.7 Чему равна доля золы, уносимой из камерной топки при сжигании мазута? Ответ обосновать
1. 0,95.
2. 0,5.
3. 1.

Задание 1.5.8 Что измеряют с помощью шумомера?
1. Уровень звуковой мощности источника шума;
2. Уровень интенсивности шума;
3. Уровень звукового давления.

Задание 1.5.9 Как изменится уровень звукового давления в расчётной точке при замене дымовой трубы с газоотводящим металлическим стволом на дымовую трубу с кирпичной футеровкой? Ответ обосновать

1. Уменьшится.
2. Останется без изменений.
3. Увеличится.

Задание 1.5.10 Определить суммарный уровень звукового давления (УЗД) в расчётной точке при работе двух источников шума. При работе 1-го источника УЗД в расчётной точке составляет 50 дБ, при работе 2-го – 110 дБ. Ответ обосновать.
1. 110 дБ;
2. 80 дБ;
3. 50 дБ;
4. 160 дБ.

Задание экзаменационного билета № 1.6 (10 баллов)

Задание 1.6.1
Типы тепловых электростанций, простейшие тепловые схемы паротурбинных ТЭС.

Задание 1.6.2
Показатели тепловой экономичности КЭС.

Задание 1.6.3
Пути повышения тепловой экономичности КЭС.

Задание 1.6.4
Принципиальная тепловая схема паротурбинной установки КЭС, назначение основных элементов тепловой схемы.

Задание 1.6.5
Системы технического водоснабжения: прямоточные, оборотные. Сравнение различных систем технического водоснабжения

Задание 1.6.6
Раздельная и комбинированная выработка электрической и тепловой энергии. Отпуск теплоты от ТЭЦ, схемы отпуска тепла различным потребителям.

Задание 1.6.7
Регенеративные подогреватели на ТЭС, место их включения в тепловую схему ТЭС.

Задание 1.6.8
Схемы включения питательных и конденсатных насосов в тепловую схему ТЭС. Виды приводов насосов.

Задание 1.6.9
Газотурбинные ТЭС. Термодинамический цикл Брайтона. Простейшая тепловая схема энергетической ГТУ открытого цикла.

Задание 1.6.10
Промежуточный перегрев пара на КЭС, его влияние на тепловую экономичность.

Пример выполнения задания 1.6.1

Тепловая электростанция (ТЭС) – электростанция, где используется химическая энергия горения органических топлив: твердого (уголь, торф, сланцы), жидкого (мазут), газообразного (газ)

Тепловые электрические станции подразделяют на:

- **конденсационные** электрические станции (КЭС), предназначенные для выработки только электрической энергии. Крупные КЭС районного значения получили название государственных районных электростанций (ГРЭС);
- **теплоэлектроцентрали** (ТЭЦ), предназначенные для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии (в виде горячей воды и пара).

В свою очередь КЭС и ТЭЦ оборудованы паросиловыми турбоустановками (работающими по циклу Ренкина):

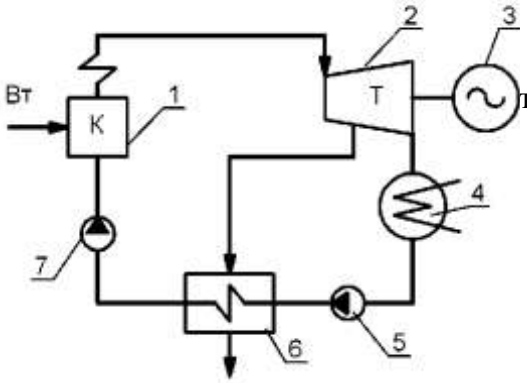
1) Докритического давления:

- без промежуточного перегрева пара, например, К-100-90 (КЭС), Т-100-130 (ТЭЦ);
- с промежуточным перегревом пара, например, К-200-130 (КЭС), Т-180-130 (ТЭЦ).

2) Сверхкритического давления с промежуточным перегревом пара, например, К-300-240 (КЭС), Т-250-240 (ТЭЦ).

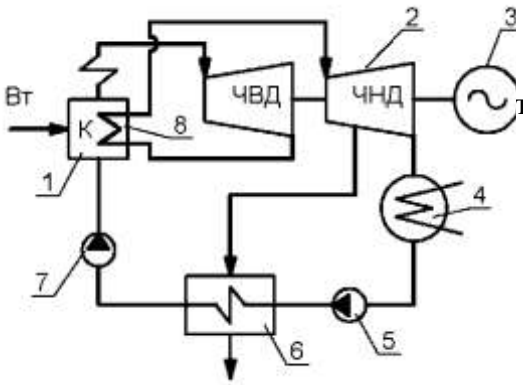
Простейшие тепловые схемы КЭС

Без промежуточного перегрева пара



1 - паровой котел;
2 - паровая турбина;
3 - электрический генератор;
4 - конденсатор отработавшего пара турбины;
5 - конденсатный насос;
6 - регенеративный подогреватель;
7 – питательный насос.

С промежуточным перегревом пара



1 - паровой котел;
2 - паровая турбина;
3 - электрический генератор;
4 - конденсатор отработавшего пара турбины;
5 - конденсатный насос;
6 - регенеративный подогреватель;
7 – питательный насос;
8 - промежуточный перегрев пара.

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) предназначены:

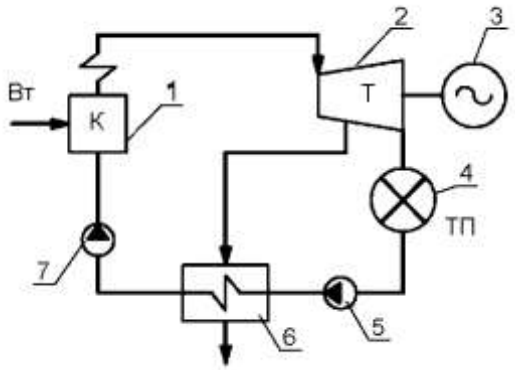
1) Для снабжения паром промышленных предприятий и оборудованы турбоустановками

- с конденсацией и производственным отбором пара (П-6-35/5, ПТ-80-130);
- с противодавлением (Р-100-130) – **промышленные ТЭЦ.**

2) Для подогрева сетевой воды, поступающей к потребителям для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения и оборудованы турбоустановками с конденсацией и теплофикационными регулируемыми отборами (Т-100/110-130, Т-250-240) – **отопительные ТЭЦ.**

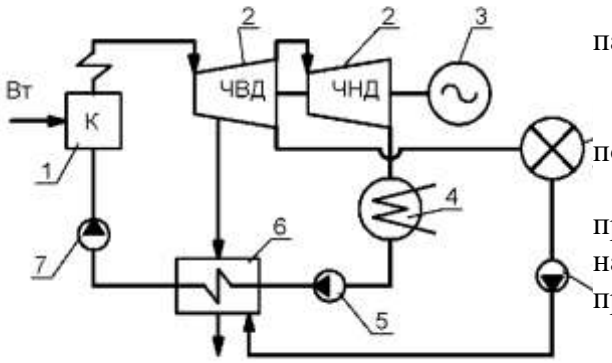
Простейшие тепловые схемы промышленной ТЭЦ

С противодавлением



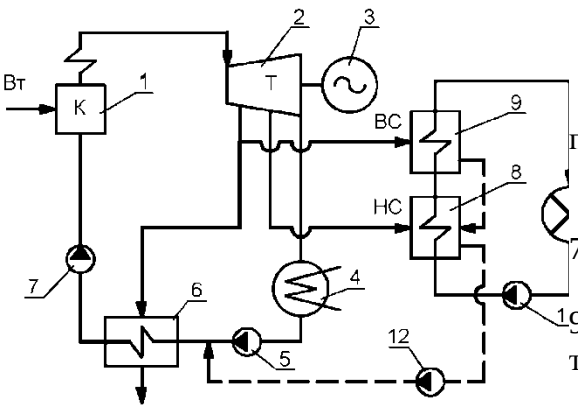
1 - паровой котел;
2 - паровая турбина;
3 - электрический генератор;
4 - промышленный потребитель пара;
5 - насос обратного конденсата с производства;
6 - регенеративный подогреватель;
7 – питательный насос.

С конденсацией и производственным отбором пара



1 - паровой котел;
2 - паровая турбина;
3 - электрический генератор;
4 - конденсатор отработавшего пара турбины;
5 - конденсатный насос;
6 - регенеративный подогреватель;
7 – питательный насос; 8- промышленный потребитель пара; 9- насос обратного конденсата с производства.

Простейшая тепловая схема отопительной ТЭЦ



1-паровой котел;
2-паровая турбина;
3-электрический генератор;
4-конденсатор отработавшего пара турбины;
5-конденсатный насос;
6-регенеративный подогреватель;
7 –питательный насос;
8- нижний сетевой подогреватель;
9-верхний сетевой подогреватель; 10-тепловой потребитель;
11-сетевой насос.

Задание экзаменационного билета № 1.7 (10 баллов)

Задание 1.7.1
Конструкции поверхностных ПНД и ПВД ТЭС, их основные отличия.

Задание 1.7.2
Типы регенеративных подогревателей ТЭС. Преимущества, недостатки каждого типа.

Задание 1.7.3
Конструкции сетевых подогревателей ТЭС, назначение сетевых подогревателей.

Задание 1.7.4
Деаэраторы ТЭС, назначение. Изобразите конструктивную схему деаэрационной колонки любого типа.

Задание 1.7.5
Понятие недогрева в поверхностном теплообменном аппарате. График изменения температур теплоносителей.

Задание 1.7.6
Как выбирается скорость среды в трубопроводах ТЭС? Как рассчитывается внутренний диаметр трубопроводов?

Задание 1.7.7
Арматура ТЭС: назначение, типы, области применения.

Задание 1.7.8
Насосы ТЭС. Явления кавитации и помпажа в насосах.

Задание 1.7.9
Тягодутьевые машины ТЭС, их назначение и основные характеристики.

Задание 1.7.10

Мельницы для приготовления угольной пыли на ТЭС.

Пример выполнения задания 1.7.5

Недогрев характеризует термодинамическое совершенство подогревателя и определяет эффективность нагрева воды.

Недогрев – разность между температурой насыщения пара, определенной по давлению его на входе в подогреватель (в зону его конденсации), и температурой воды на выходе из подогревателя:

$$\vartheta = t_s - t_2$$

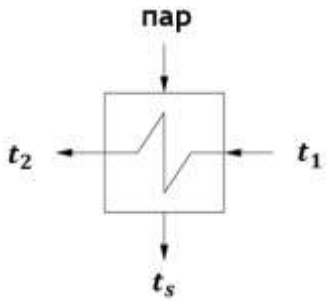


Рис. 1. Схема поверхностного подогревателя

Для схемы поверхностного подогревателя без охладителя пара и конденсата, приведённой на рисунке выше, график изменения температур теплоносителей выглядит следующим образом:

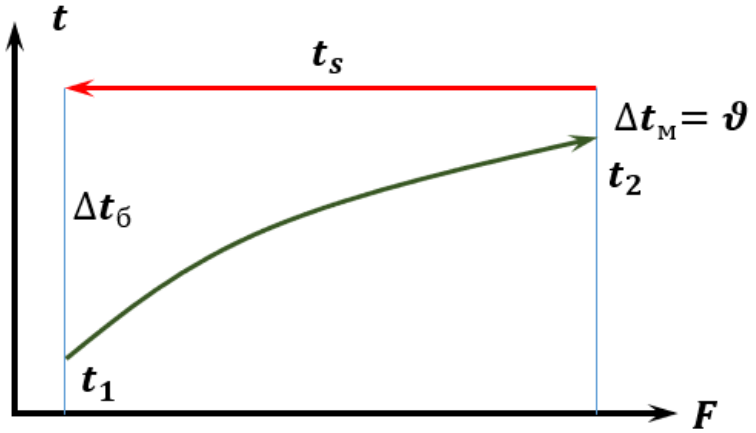


Рис. 2. График изменения температур теплоносителей

Значение номинального недогрева воды в ПНД и ПВД зависит наличия или отсутствия охладителя пара и обычно составляет:

– ПНД и ПВД без ОП: 3,0°С;
– ПНД с ОП: 2,0°С;
– ПВД с ОП: 1,5°С.

Приведённые значения недогревов могут корректироваться на основе технико-экономических расчётов тепловых схем при проектировании турбоустановок.

Недогрев в подогревателях поверхностного типа рассчитывается как:

$$\vartheta = (t_s - t_1) \cdot e^{-\frac{k \cdot F}{G_в \cdot c_p}}$$

(вывод формулы:

основное уравнение теплопередачи: $Q = k \cdot F \cdot \Delta t$, где температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln\left(\frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}\right)} = \frac{(t_s - t_1) - (t_s - t_2)}{\ln\left(\frac{t_s - t_1}{t_s - t_2}\right)} = \frac{t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{t_s - t_1}{t_s - t_2}\right)}$$

– с другой стороны, $Q = G_{\text{в}} \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$

– из уравнений для Q выражают $\vartheta = t_s - t_2$).

Принимая во внимание, что $t_s - t_1 = \vartheta + (t_2 - t_1)$, недогрев можно также выразить как:

$$\boldsymbol{\vartheta} = \frac{(t_2 - t_1)}{e^{\frac{k \cdot F}{G_{\text{в}} \cdot c_p}} - 1}.$$

Причины появления недогревов в поверхностных подогревателях:

1. Термическое сопротивление металла стенок труб.

Определяется толщиной стенки и свойствами металла

2. Отложения (редко актуально для ПНД и ПВД).

Зависят от вида и состава теплоносителя, его скорости, давления и температуры, содержания в нем загрязняющих веществ, а также от шероховатости стенки трубок и материала, из которого изготовлены трубки. Как правило, загрязнение происходит внутри теплообменных трубок, редко – загрязнения в межтрубном пространстве аппаратов.

– накипные отложения

– продукты коррозии

– механические

– биологические

3. Конденсация пара в присутствии воздуха.

Наличие в паровом пространстве неконденсирующихся газов снижает коэффициент теплоотдачи. По этой причине важна удовлетворительная работа системы отсоса воздуха из парового пространства. Во избежание повышения концентрации воздуха его необходимо удалять из подогревателя.

4. Сокращение поверхности теплообмена за счёт как затопления части трубной системы при повышенном уровне конденсата в корпусе подогревателя, так и отглушения дефектных трубок.

5. Повышенное аэродинамическое сопротивление паропроводов от турбины к подогревателям.

6. Протечки в водяных камерах между ходами.

7. Байпасирование части питательной воды помимо аппарата.

Задание экзаменационного билета № 1.8 (10 баллов)

Задание 1.8.1

Общая характеристика режимов работы теплофикационных турбин. Работа по тепловому графику. Изменение электрической мощности.

Задание 1.8.2

Режимы работы теплофикационных турбин по электрическому графику. Регулирование нагрузки.

Задание 1.8.3

Влияние изменение вакуума в конденсаторе турбины на изменение ее мощности. Основные причины изменения вакуума в конденсаторе турбины.

Задание 1.8.4

Пусковые схемы энергоблоков и их назначение. Типы пусковых схем, общая характеристика и условия применения. Преимущества и недостатки.

Задание 1.8.5

Как изменится общий расход топлива и удельный расход условного топлива на конденсационном энергоблоке, если мощность турбины понизилась на 30% от номинальной. Параметры острого пара и пара промперегрева не изменились, вакуум в конденсаторе не изменился. Объяснить ответ.

Задание 1.8.6
Как изменится удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии на теплофикационной турбине, работавшей по тепловому графику, если температура прямой и обратной сетевой воды снизится на 10оС. При этом тепловая нагрузка останется неизменной. Объяснить ответ.

Задание 1.8.7
Как изменится удельный расход условного топлива на конденсационной турбине, если мощность турбины осталась неизменной, а температура циркводы на входе в конденсатор выросла на 5°С. Расход циркводы остался неизменным. Объяснить ответ. Потери топлива, тепла и электроэнергии на этапах пуска энергоблока. Основные факторы определяющие потери топлива на пуск.

Задание 1.8.8
Как изменится удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии теплофикационной турбиной, работавшей по тепловому графику, если мощность турбины увеличилась на 20 МВт, а тепловая нагрузка и параметры отпуска тепла не изменились. Объяснить ответ.

Задание 1.8.9
Чем объяснить снижение экономичности турбоагрегата, по мере снижения нагрузки. Перечислить основные факторы. Объяснить ответ.

Задание 1.8.10
Классификация режимов пуска основного оборудования ТЭС. Общая характеристика

Пример выполнения задания 1.8.1

При работе по тепловому графику электрическая мощность турбоагрегата N изменяется в зависимости от требуемой тепловой нагрузки отборов турбины Qт и параметров отпуска тепла. В этом случае регулирующую диафрагму полностью закрывают (или приоткрывают минимально) только для пропуска вентиляционного потока через ЧНД в конденсатор, обеспечивающего допустимый температурный уровень проточной части ЧНД. На рис.1. представлена упрощенная схема турбоагрегата

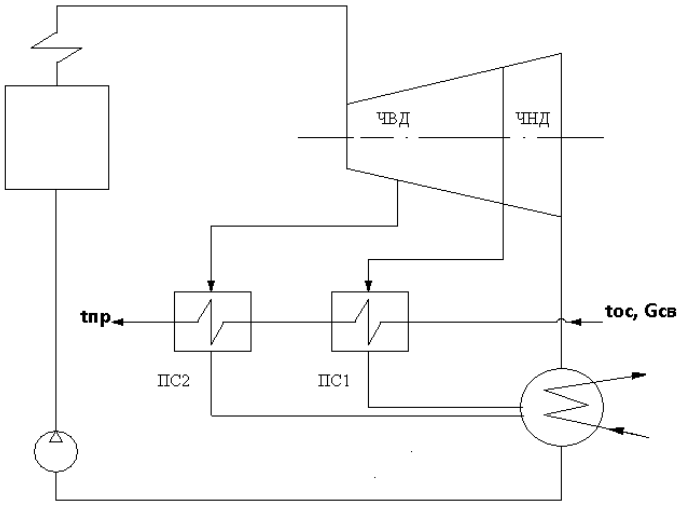


Рис. 1. Упрощенная схема турбоагрегата с регулируемыми отборами пара для отпуска тепловой нагрузки

Изменение тепловой нагрузки может происходить за счет изменения расхода сетевой воды (или отпуска пара), при неизменных параметрах. Тогда изменение расхода сетевой воды приводит к изменению отпуска тепла, соответственно пропорциональному изменению расхода пара на турбину и изменению мощности.

$Q_T^{отб}=G_{св}\ Cp\ (t_{пр} - t_{ос})$.

Изменение тепловой нагрузки может происходить при неизменном расходе сетевой воды, но при изменении параметров отпуска тепла, росте или снижении температуры прямой и обратной сетевой воды. При росте параметров отпуска тепла (температуры прямой и обратной сетевой воды), давление в регулируемых отборах на сетевые подогреватели растет, теплоперепад основного потока пара уменьшается. При этом мощность турбины за счет увеличения расхода пара, как правило увеличивается, а удельный расход топлива на выработку электроэнергии будет расти. При снижении параметров отпуска тепла и снижении тепловой нагрузки, расход пара на турбину снижается и мощность турбины уменьшается. В этом случае теплоперепад в турбине растет и удельный расход топлива, как правило, снижается.

Итог: При работе по тепловому графику, вырабатываемая турбиной электрическая мощность, определяется тепловой нагрузкой и параметрами отпуска тепловой нагрузки.

Работа с закрытой диафрагмой, по тепловому графику, наиболее экономична, с точки зрения использования топлива. В этом случае коэффициент использования теплоты топлива может достигать 80%. Экономичность достигается за счет максимального снижения потерь в холодном источнике (конденсаторе).

Задание экзаменационного билета № 1.9 (10 баллов)

Задание 1.9.1
Схема теплового пункта в закрытой водяной системе централизованного теплоснабжения с узлом учёта теплоты и присоединением систем отопления и горячего водоснабжения.

Задание 1.9.2
Системы теплоснабжения: централизованные, децентрализованные, индивидуальные. Теплофикация.

Задание 1.9.3
Методы определения расчётных и текущих, часовых и годовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Задание 1.9.4
Часовые и годовые графики расхода теплоты жилыми районами. Часовой и годовой коэффициенты теплофикации.

Задание 1.9.5
Схема теплового пункта в открытой водяной системе централизованного теплоснабжения с узлом учёта теплоты и присоединением систем отопления и горячего водоснабжения.

Задание 1.9.6
Графики температур и расходов теплоносителя в закрытой водяной системе теплоснабжения с нагрузкой отопления и горячего водоснабжения при центральном регулировании по отоплению.

Задание 1.9.7
Гидравлический расчёт водяной тепловой сети. Основные цели и задачи расчета.

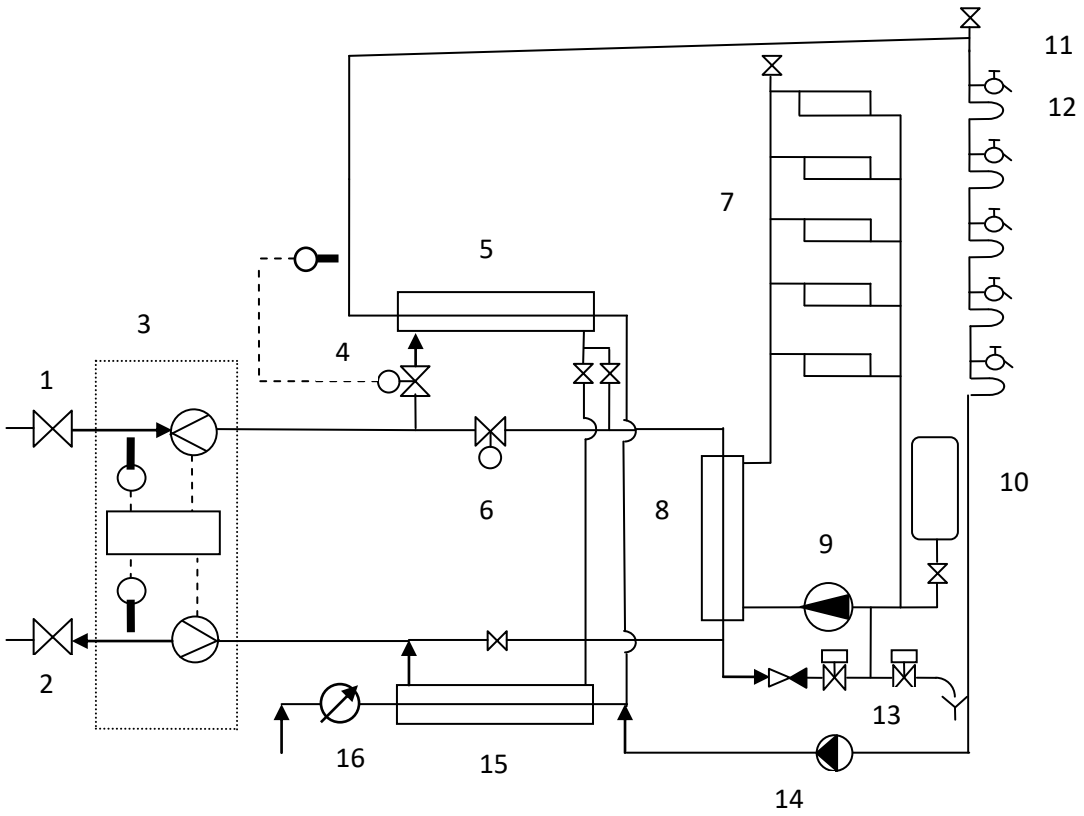
Задание 1.9.8
Пьезометрический график водяной тепловой сети. Требования к распределению напора и давления по длине тепловой сети в статическом и динамическом режимах.

Задание 1.9.9
Надземная и подземная канальная и бесканальная прокладка теплопроводов, изоляционные конструкции. Температурные деформации теплопроводов, их компенсация.

Задание 1.9.10
Тепловые потери через изоляцию тепловых сетей надземной, подземной канальной и бесканальной прокладок.

Пример выполнения задания 1.9.1

Принципиальная схема теплового пункта в закрытой системе теплоснабжения. Установка отопления присоединена по независимой схеме. Теплообменники циркуляционной установки горячего водоснабжения присоединены по двухступенчатой схеме.



Принципиальная схема теплового пункта в закрытой системе теплоснабжения

1 и 2 - задвижки на границе теплового пункта;

3 - теплосчётчик с датчиками температуры и расхода сетевой воды;

4 - регулятор температуры горячей воды в системе ГВС с датчиком температуры и регулирующим клапаном;

5 - теплообменник системы ГВС 2-й ступени;

6 - регулятор расхода сетевой воды на отопление с регулирующим клапаном;

7 - система отопления;

8 - теплообменник отопления;

9 - циркуляционный насос системы отопления;

10 - расширительный бак;

11 - водоразборное устройство;

12 - отопительный прибор ванной комнаты;

13 - система стабилизации давления в системе отопления;

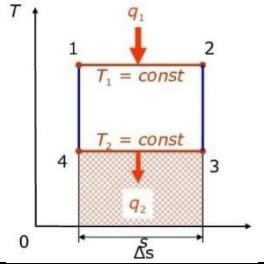
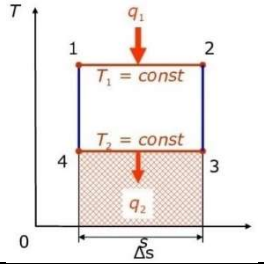
14 - циркуляционный насос системы ГВС;

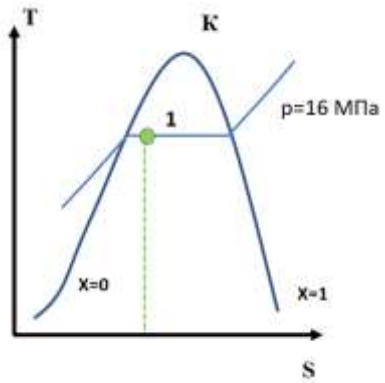
15 - теплообменник системы ГВС 1-й ступени;

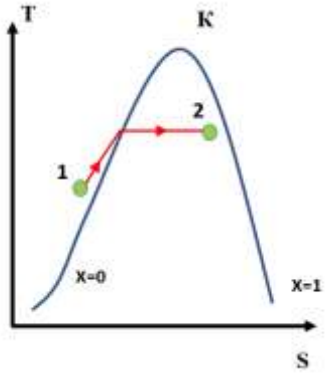
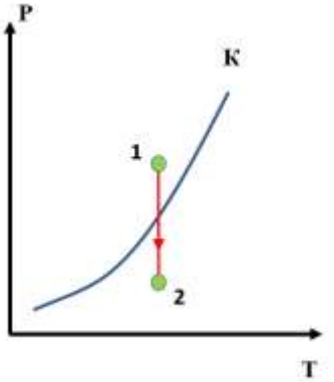
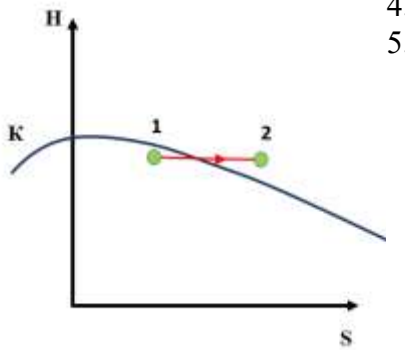
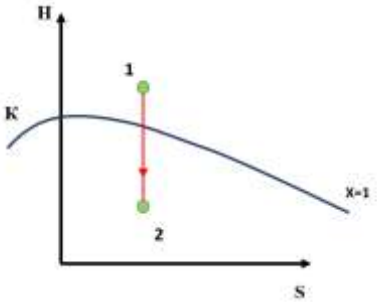
16 - счётчик холодной воды.

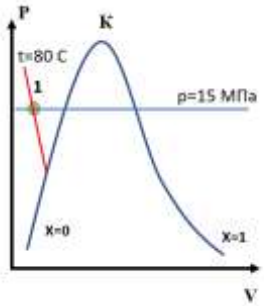
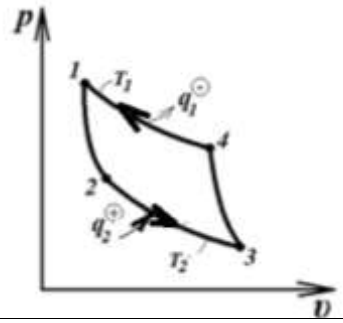
Блок №2 Цифровое проектирование объектов энергетики

Задание экзаменационного билета № 2.1 (10 баллов)

№	Задание	Варианты ответов	Ответ
2.1.1	Уравнения для расчета теплоты, подводимой к потоку в изобарном процессе идеального газа	1. $q = c_v(T_2 - T_1)$ 2. $dq = du$ 3. $q = \Delta h$ 4. $q = u$	
2.1.2	Суживающее сопло – это устройство, в котором (выберите верные утверждения)	1. скорость потока газа не изменяется. 2. увеличивается скорость потока газа. 3. площадь входного и выходного сечения одинаковы. 4. давление потока газа не изменяется.	
2.1.3	Сопло Лаваля – это устройство (выберите верные утверждения)	1. для получения сверхзвуковых потоков. 2. для получения низких скоростей потока. 3. в котором скорость потока не изменяется по длине канала. 4. в котором давление потока не изменяется по длине канала.	
2.1.4	Какой цикл изображен на T-s диаграмме 	1. Карно 2. Дизеля 3. Ренкина 4. Тринклера 5. Бойля-Мариотта	
2.1.5	Уравнение 1 закона термодинамики в дифференциальном виде	1. $Q = L$ 2. $dq = du + pdv$ 3. $dq = Tds$ 4. $Q = T(S_2 - S_1)$ 5. $Q = m(h_2 - h_1)$	
2.1.6	Выберите верное утверждение для изотермического процесса сжатия идеального газа	1. $l_{\Delta v} = 0$ 2. $q = 0$ 3. $q = l_{\Delta v}$ 4. $l_{\Delta v} = p(v_2 - v_1)$ 5. $q = \Delta u$	
2.1.7	Выберите формулу для расчета термического КПД цикла Карно 	1. $\eta_t = \frac{q_x}{\lvert q_{o.c.}\rvert - q_x}$ 2. $\eta_t = 1 + \frac{T_2}{T_1}$ 3. $\eta_t = 1 + \frac{q_1}{q_2}$ 4. $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$	

2.1.8	Чему равна теплота в изохорном процессе для идеального газа?	1. $Q = U_2 - U_1$ 2 $Q = H_2 - H_1$ 3. $Q = p \cdot (V_2 - V_1)$ 4. $Q = 0$	
2.1.9	Чему равна работа в изохорном процессе для идеального газа?	1. $L = U_2 - U_1$ 2 $L = p \cdot (V_2 - V_1)$ 3. $L = 0$ 4. $L = H_1 - H_2$	
2.1.10	Чему равна теплота в изобарном процессе для идеального газа?	1. $Q = 0$ 2. $Q = U_2 - U_1$ 3. $Q = H_2 - H_1$ 4. $Q = p \cdot (V_2 - V_1)$	
2.1.11	В каком соотношении находятся термические КПД цикла Ренкина ($\eta_р$) и цикла Карно ($\eta_к$)?	1. $\eta_р > \eta_к$ 2. $\eta_р \geq \eta_к$ 3. $\eta_р = \eta_к$ 4. $\eta_р \leq \eta_к$ 5. $\eta_р < \eta_к$	
2.1.12	Выберите верное утверждения для адиабатного (изоэнтропного) процесса идеального газа	1. $l_{\Delta v} = 0$ 2. $q = l$ 3. $S = const$ 4. $\Delta u = 0$ 5. $p = const$	
2.1.13	Выберите верные формулы для расчета степени сухости влажного пара	1. $x = \frac{h''-h'}{v''-v'}$; 2. $x = \frac{h_x-h'}{h''-h'}$ 3. $x = \frac{s_x-s'}{s''-s'}$ 4. $x = \frac{T_x-h'}{h''-h'}$	
2.1.14	Какому состоянию воды соответствуют точка 1 на T-s диаграмме  	1. Влажный пар. 2. Сухой насыщенный пар. 3.Перегретый пар 4. Жидкость	
2.1.15	Укажите какой тип процесса представлен линией 1-2 на графике в T,s- диаграмме	1.Изобарный 2. Изотермический 3. Изохорный 4. Адиабатный (изоэнтропный) 5. Адиабатное дросселирование	

			
2.1.16	Укажите какой тип процесса представлен линией 1-2 на графике в p,T диаграмме 	1.Изобарный 2. Изотермический 3. Изохорный 4. Адиабатный (изоэнтропный) 5. Адиабатное дросселирование	
2.1.17	Укажите какой тип процесса представлен линией 1-2 на графике 	1.Изобарный 2. Изотермический 3. Изохорный 4. Адиабатный (изоэнтропный) 5. Адиабатное дросселирование	
2.1.18	Укажите какой тип процесса представлен линией 1-2 на графике 	1.Изобарный 2. Изотермический 3. Изохорный 4. Адиабатный (изоэнтропный) 5. Адиабатное дросселирование	
2.1.19	Какому состоянию воды соответствует точка 1 на T-	1. Влажный пар. 2. Сухой насыщенный пар.	

	s диаграмме 	3.Перегретый пар 4. Жидкость	
2.1.20	Внутренняя энергия идеального газа зависит только от	1. давления 2. температуры 3. не зависит от параметров 4. влажности 5. энтропии	
2.1.21	Какой цикл изображен на p-v диаграмме 	1. Прямой цикл Карно 2. Обратный цикл Карно 3. Дизеля 4. Ренкина 5. Тринклера 6. Бойля-Мариотта	
22	Как называется точка, в которой сосуществуют три фазы реального газа (жидкая, газообразная и твердая)?	1. тройная точка; 2. точка сублимации; 3. точка инверсии; 4. критическая точка; 5. точка росы.	

Пример выполнения задания 2.1.11

Согласно теореме Карно коэффициент полезного действия любой тепловой машины, работающей в интервале температур T_1 и T_2 (T_1 - температура нагревателя и T_2 - температура холодильника) не может быть больше к.п.д. машины, работающей по циклу Карно в том же интервале температур, поэтому правильный ответ – 5.

Задание экзаменационного билета № 2.2 (10 баллов)

Задание 2.2.1

Укажите уравнения стационарной теплопроводности в бесконечной плоской стенке

1	$\frac{d}{dx}\left(\lambda\frac{dt}{dx}\right)=0$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right)=-q_V$
2	$\frac{d}{dr}\left(r\frac{dt}{dr}\right)=0$	5	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right)=-q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.2

Укажите уравнения стационарной теплопроводности в бесконечной цилиндрической стеке

1	$\frac{d}{dx}\left(\lambda\frac{dt}{dx}\right)=0$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right)=-q_V$
2	$\frac{d}{dr}\left(r\frac{dt}{dr}\right)=0$	5	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right)=-q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.3

Укажите уравнения стационарной теплопроводности для тела без внутренних источников теплоты

1	$\frac{d}{dx}\left(\lambda\frac{dt}{dx}\right)=0$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right)=-q_V$
2	$\frac{d}{dr}\left(r\frac{dt}{dr}\right)=0$	5	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right)=-q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.4

Укажите уравнения стационарной теплопроводности для тела с внутренними источниками теплоты

1	$\frac{d}{dx}\left(\lambda\frac{dt}{dx}\right)=0$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right)=-q_V$
2	$\frac{d}{dr}\left(r\frac{dt}{dr}\right)=0$	5	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right)=-q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.5

Укажите уравнения нестационарной теплопроводности для бесконечной плоской стенки

1	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right)=-q_V$
2	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)$	5	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right)=-q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.6

Укажите уравнения нестационарной теплопроводности для бесконечного цилиндра

1	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right)=-q_V$
2	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)$	5	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right)=-q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial\tau}=a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)+\frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.7

Укажите уравнения нестационарной теплопроводности для тела с внутренними источниками теплоты

1	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right) = -q_V$
2	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)$	5	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right) = -q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right) + \frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.8

Укажите уравнения нестационарной теплопроводности для тела без внутренних источников теплоты

1	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right) = -q_V$
2	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)$	5	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right) = -q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right) + \frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.9

Укажите уравнения теплопроводности для бесконечной пластины

1	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right) = -q_V$
2	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)$	5	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right) = -q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right) + \frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.10

Укажите уравнения теплопроводности для бесконечного цилиндра

1	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$	4	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\lambda\frac{dt}{dr}\right) = -q_V$
2	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right)$	5	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{q_V}{\rho c_p}$
3	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left(\lambda\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}x}\right) = -q_V$	6	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r}\right) + \frac{q_V}{\rho c_p}$

Задание 2.2.11

Установите соответствие между уравнением и его формулой

Уравнение Фурье	$q = \alpha \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{ж}})$
Уравнение Ньюто-Рихмана	$q = k \cdot (t_{\text{ж}1} - t_{\text{ж}2})$
Уравнение теплопередачи	$\bar{q} = -\lambda \cdot \mathbf{grad}t$
Дифференциальное уравнении теплопроводности в бесконечной пластине для стационарных условий	$\frac{d}{dx}\left(\lambda\frac{dt}{dx}\right) = 0$

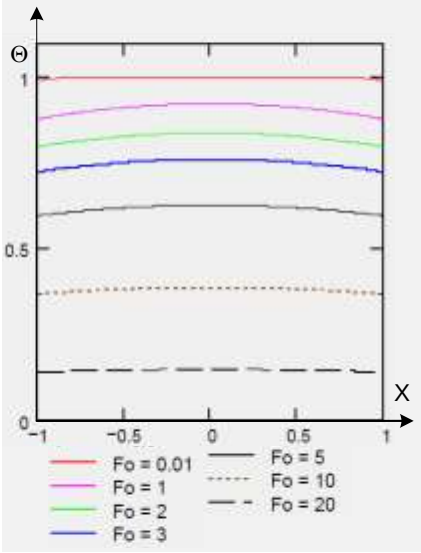
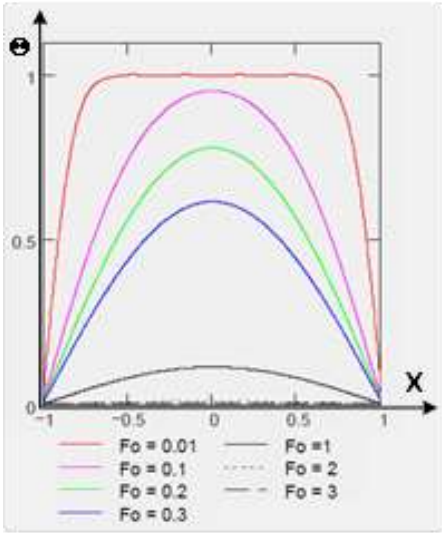
Задание 2.2.12

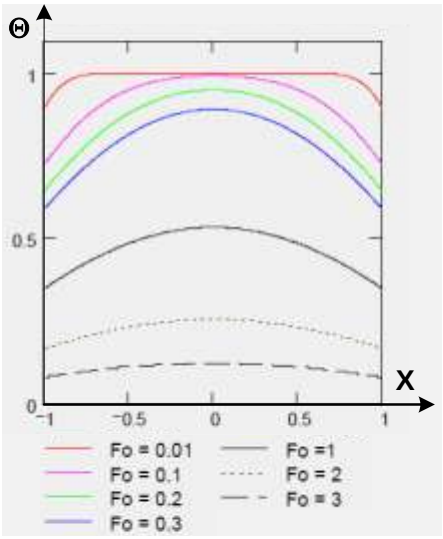
Установите соответствие между параметром и формулой для его расчета

Линейная плотность теплового потока через однослойную цилиндрическую стенку	$k_l = \dfrac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1 d_1} + \dfrac{1}{2\lambda}\ln\dfrac{d_2}{d_1} + \dfrac{1}{\alpha_2 d_2}}$
Линейный коэффициент теплопередачи через однослойную цилиндрическую стенку	$q_l = \dfrac{\pi(t_{ж1} - t_{ж2})}{\dfrac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^{n}\dfrac{1}{2\lambda_i}\ln\dfrac{d_{i+1}}{d_i} + \dfrac{1}{\alpha_2 d_{n+1}}}$
Линейная плотность теплового потока через многослойную цилиндрическую стенку	$q_l = \dfrac{2\pi\lambda}{\ln\dfrac{d_2}{d_1}}(t_1 - t_2)$
Линейный коэффициент теплопередачи через многослойную цилиндрическую стенку	$k_l = \dfrac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^{n}\dfrac{1}{2\lambda_i}\ln\dfrac{d_{i+1}}{d_i} + \dfrac{1}{\alpha_2 d_{n+1}}}$

Задание 2.2.13

Укажите соответствие между описанием температурного поля и его изображением

Нестационарное температурное поле в плоской стенке при $Bi \to 0$	 а)
Нестационарное температурное поле в плоской стенке при $Bi \to \infty$	
Нестационарное температурное поле в плоской стенке при $1 < Bi < 100$	 б)

	 в)

Задание 2.2.14

Установите соответствие между результирующим потоком и формулой для его расчета

Вопрос	**Варианты ответа**
Результирующий поток от внутренней сферы к внешней сфере	$Q_{\text{рез}1} = \dfrac{\sigma(T_2^4 - T_1^4)F_1}{\dfrac{1}{A_1} + \dfrac{F_1}{F_2}\left(\dfrac{1}{A_2} - 1\right)}$
Плотность результирующего потока от внутренней сферы к внешней сфере	$q_{\text{рез}2} = \dfrac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\dfrac{1}{A_1} + \dfrac{1}{A_2} - 1}$
Плотность результирующего потока от одной плоской пластины к другой плоской пластине	$Q_{\text{рез }21} = \dfrac{\sigma(T_2^4 - T_1^4)F_1}{\dfrac{1}{A_1} + \dfrac{1}{A_2} - 1 + \left(\dfrac{2}{A_э} - 1\right)}$
Результирующий поток от одной плоской пластины к другой плоской пластине при наличии экрана	$q_{\text{рез}1} = \dfrac{\sigma(T_2^4 - T_1^4)}{\dfrac{1}{A_1} + \dfrac{F_1}{F_2}\left(\dfrac{1}{A_2} - 1\right)}$

Задание 2.2.15

Укажите формулы для расчета коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении

1	$\alpha = \dfrac{3,4 \cdot p_s^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot p_s}(q)^{2/3}$	4	$\alpha = \sqrt[4]{\dfrac{\lambda_ж^3(\rho_ж - \rho_п)gr}{4\nu_ж(t_s - t_c)x}}$
2	$\bar{\alpha} = 0,62\left(\dfrac{(\lambda'')^3 \cdot r^* \cdot g \cdot (\rho - \rho'')}{\nu'' \cdot d \cdot (t_c - t_s)}\right)^{1/4}$	5	$\overline{\alpha} = 0,943\sqrt[4]{\dfrac{\lambda_ж^3(\rho_ж - \rho_п)gr}{\nu_ж(t_s - t_c)h}}$
3	$\bar{\alpha} = 0,25\left(\dfrac{(\lambda'')^2 \cdot c''_p \cdot g \cdot (\rho - \rho'')}{\nu''}\right)^{1/3}$	6	$\alpha = \left(\dfrac{3,4 \cdot p_s^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot p_s}\right)^3 \cdot (\Delta t)^2$

Задание 2.2.16

Укажите формулы для расчета коэффициента теплоотдачи при пленочном кипении

1	$\alpha = \dfrac{3,4 \cdot p_s^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot p_s}(q)^{2/3}$	4	$\alpha = \sqrt[4]{\dfrac{\lambda_ж^3(\rho_ж - \rho_п)gr}{4\nu_ж(t_s - t_c)x}}$
2	$\bar{\alpha} = 0,62\left(\dfrac{(\lambda'')^3 \cdot r^* \cdot g \cdot (\rho - \rho'')}{\nu'' \cdot d \cdot (t_c - t_s)}\right)^{1/4}$	5	$\overline{\alpha} = 0,943\sqrt[4]{\dfrac{\lambda_ж^3(\rho_ж - \rho_п)gr}{\nu_ж(t_s - t_c)h}}$
3	$\bar{\alpha} = 0,25\left(\dfrac{(\lambda'')^2 \cdot c''_p \cdot g \cdot (\rho - \rho'')}{\nu''}\right)^{1/3}$	6	$\alpha = \left(\dfrac{3,4 \cdot p_s^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot p_s}\right)^3 \cdot (\Delta t)^2$

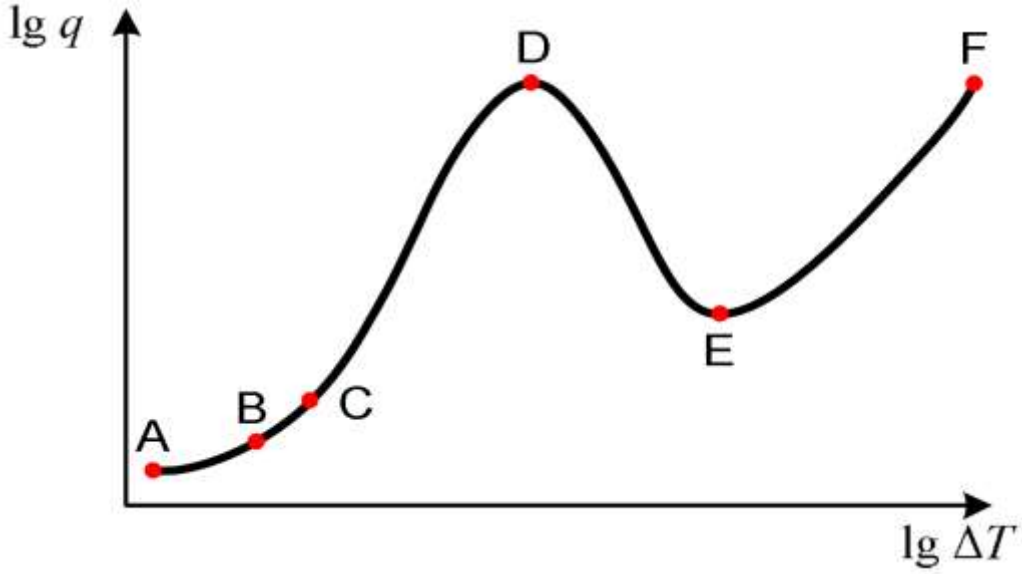
Задание 2.2.17

Укажите формулы для расчета коэффициента теплоотдачи при ламинарном течении пленки конденсата

1	$\alpha = \dfrac{3,4 \cdot p_s^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot p_s}(q)^{2/3}$	4	$\alpha = \sqrt[4]{\dfrac{\lambda_ж^3(\rho_ж - \rho_п)gr}{4\nu_ж(t_s - t_c)x}}$
2	$\bar{\alpha} = 0,62\left(\dfrac{(\lambda'')^3 \cdot r^* \cdot g \cdot (\rho - \rho'')}{\nu'' \cdot d \cdot (t_c - t_s)}\right)^{1/4}$	5	$\overline{\alpha} = 0,943\sqrt[4]{\dfrac{\lambda_ж^3(\rho_ж - \rho_п)gr}{\nu_ж(t_s - t_c)h}}$
3	$\bar{\alpha} = 0,25\left(\dfrac{(\lambda'')^2 \cdot c''_p \cdot g \cdot (\rho - \rho'')}{\nu''}\right)^{1/3}$	6	$\alpha = \left(\dfrac{3,4 \cdot p_s^{0,18}}{1 - 0,0045 \cdot p_s}\right)^3 \cdot (\Delta t)^2$

Задание 2.2.18

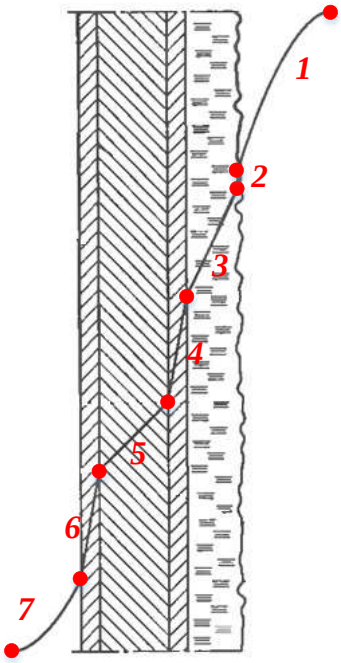
Укажите последовательность участков на кривой кипении



1 – конвективная область
2 – неустойчивое кипение
3 – развитое кипение
4 – переходная область
5 – пленочное кипение

Задание 2.2.19

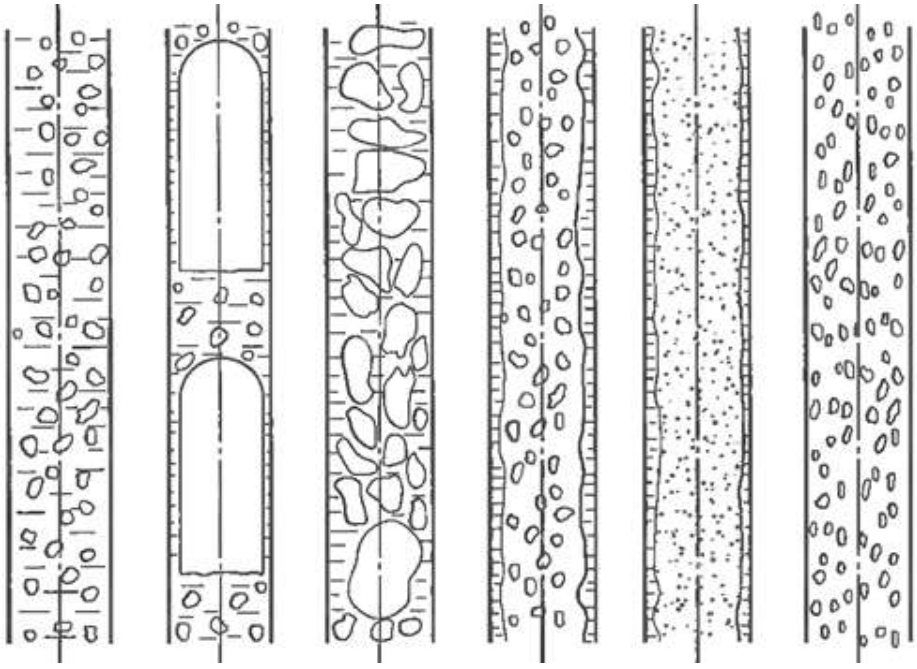
Установите последовательность термических сопротивлений по направлению теплового потока при пленочной конденсации



1. диффузионное сопротивление
2. сопротивление фазового перехода
3. сопротивление конденсата
4. термическое сопротивление отложений
5. сопротивление стенки
6. сопротивление охлаждающей жидкости

Задание 2.2.20

Установите соответствие режимов кипения в вертикальном трубопроводе



1 ***2*** ***3*** ***4*** ***5*** ***6***

1. дисперсно-кольцевой;
2. пузырьковый;
3. снарядный;
4. кольцевой;
5. дисперсный
6. эмульсионный;

Пример выполнения задания 2.2.11
Установите соответствие между уравнением и его формулой

Уравнение Фурье	$\bar{q} = -\lambda \cdot \mathbf{grad} t$
Уравнение Ньюто-Рихмана	$q = \alpha \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{ж}})$
Уравнение теплопередачи	$q = k \cdot (t_{\text{ж1}} - t_{\text{ж2}})$
Дифференциальное уравнении теплопроводности в бесконечной пластине для стационарных условий	$\frac{d}{dx}\left(\lambda \frac{dt}{dx}\right) = 0$

Задание экзаменационного билета № 2.3 (10 баллов)

Задание 2.3.1
Аналитические выражения первого закона термодинамики в интегральном и дифференциальном виде. Формулы, описание термодинамических функций состояния и функций процесса, входящих в уравнения.

Задание 2.3.2
Уравнение первого закона термодинамики для потока вещества. Теплота и работа в потоке. Описание величин, входящих в уравнение.

Задание 2.3.3
Уравнение первого закона термодинамики для неравновесных процессов. Описание величин, входящих в уравнение. Изображение произвольного неравновесного процесса в p,v- диаграмме.

Задание 2.3.4
Термическое уравнение состояния идеального газа - уравнение Клайперона-Менделеева: для m кг газа. Описание величин, входящих в уравнение. Определение идеального газа.

Задание 2.3.5
Прямой обратимый цикл Карно, графики цикла в p, v - и T, s - диаграммах, КПД цикла Карно.

Задание 2.3.6
Изобарный процесс идеального газа. Соотношения параметров, расчет теплоты и работы расширения в изобарном процессе. Изображение процесса в p, v - и $T, s -$ диаграммах.

Задание 2.3.7
Изохорный процесс идеального газа. Соотношения параметров, расчет теплоты и работы расширения в изохорном процессе. Изображение процесса в p, v - и $T, s -$ диаграммах.

Задание 2.3.8
Изотермический процесс идеального газа. Соотношения параметров, расчет теплоты и работы расширения в изобарном процессе. Изображение процесса в p, v - и $T, s -$ диаграммах.

Задание 2.3.9
Адиабатный процесс идеального газа. Показатель адиабаты, уравнение адиабаты. Соотношения параметров, работа расширения и техническая работа. Изображение процесса в p, v - и $T, s -$ диаграммах.

Задание 2.3.10
Политропный процесс, его обобщающее значение. Соотношение между термическими параметрами газа в политропном процессе. Расчет работы и теплоты в политропном процессе.

Задание 2.3.11
Понятие энтропии, свойства энтропии. Интеграл Клаузиуса. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.

Задание 2.3.12
Влажный воздух, определение, способы задания влажного овздуха. Парциальное давление компонентов, закон Дальтона.

Задание 2.3.13
$p, v -$и $p, T -$ диаграммы воды и водяного пара. Линии изобар, изохор, изотерм на диаграммах. Обозначение фаз воды и водяного пара на диаграммах.

Задание 2.3.14
T-s диаграмма воды и водяного пара. Линии изобар, изохор, изотерм, постоянного x на диаграмме. Формулы расчета свойств влажного пара для: h энтальпии, v удельного объема, s энтропии.

Задание 2.3.15
Адиабатный обратимый процесс расширения реального газа, расчет технической работы. Изображение процесса в $p, v -$ и $T, s -$диаграммах.

Задание 2.3.16
Изохорный процесс реального газа. Теплота и работа процесса, формулы для расчета. Изображение процесса в $p, T -$, $p, v -$ и $T, s -$ диаграммах, докритическая и сверхкритическая изохоры.

Задание 2.3.17
Изобарный процесс реального газа. Теплота и работа процесса, формулы для расчета. Изображение процесса в $p, T -$, $p, v -$ и $T, s -$ диаграммах, докритическая и сверхкритическая.изобары

Задание 2.3.18
Изотермический процесс идеального газа. Работа расширения и теплота, формулы для расчета. Изображение процесса в $p, T -$, $p, v -$ и $T, s -$диаграммах, докритическая и сверхкритическая изотермы.

Задание 2.3.19
Течение газа в суживающих соплах. Определение режима истечения идеального газа из суживающего сопла. Коэффициенты β и $\beta_{\text{кр}}$. Кризис течения.

Задание 2.3.20
Методика расчета дозвукового режима истечения из суживающего сопла водяного пара без трения. Расчет скорости и массового расхода в соплах.

Задание 2.3.21
Учет трения при истечении газа из сопел. h, s –диаграмма, формула расчета скорости на выходе из сопла. Скоростной коэффициент φ и коэффициент массы μ.

Пример выполнения задания 2.3.10
Все процессы идеального газа могут быть представлены как частные случаи политропного процесса с некоторым фиксированным показателем политропы (адиабатный процесс приближенно при k = const).

$$p \cdot \upsilon^n = const$$

Процесс	n	c_n
Изохорный	$\pm\infty$	c_υ
Изобарный	0	c_p
Изотермический	1	$\pm\infty$
Адиабатный	k	0
Политропный	n	c_n

Изображение различных политроп в диаграмме p, υ при этих фиксированных показателях политропы n показано на рисунке 1. График изменения теплоемкости газа в зависимости от заданного показателя политропы процесса представлена на рис. 2.

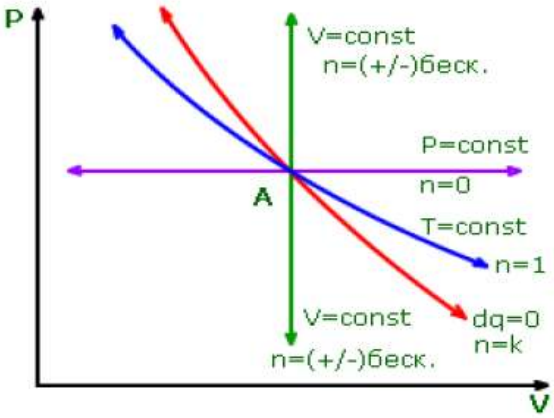


Рис. 1

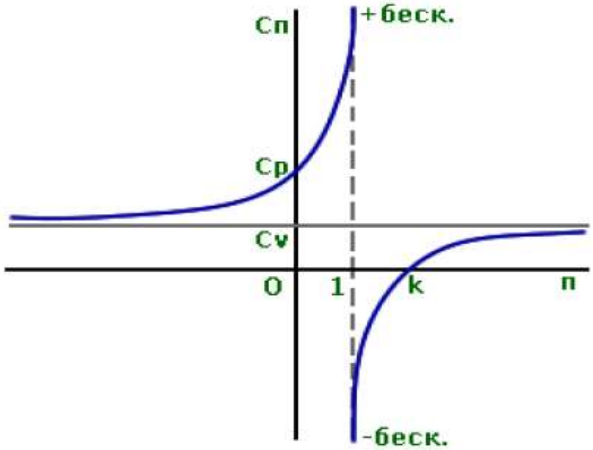


Рис. 2

Соотношение между термическими параметрами

Соотношением между термическими параметрами газа в этом процессе получим, использовав уравнение Первого закона:

$$dq = dh - \upsilon dp \quad \text{и} \quad c_n dT = c_p dT - \upsilon dp;$$

$$dq = du + pd\upsilon \quad \text{и} \quad c_n dT = c_\upsilon dT + pd\upsilon.$$

Поделив эти уравнения, получим $\dfrac{c_n - c_p}{c_n - c_\upsilon} = \dfrac{-\upsilon dp}{pd\upsilon}$.

Показатель политропы $n = \dfrac{c_n - c_p}{c_n - c_\upsilon}$.

Тогда $n \cdot \frac{d\upsilon}{\upsilon} + \frac{dp}{p} = 0$ следовательно, проинтегрировав,

получим $p\upsilon^n = const$ $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}\right)^n$.

Подставив $p = \frac{RT}{\upsilon}$, $T\upsilon^{n-1} = const$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}\right)^{n-1}$.

Подставив $\upsilon = \frac{RT}{p}$, $p^{1-n}T^n = const$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$.

Работа расширения газа

Для расчета работы расширения газа в политропном процессе используем (*можно использовать любую из формул*)

$$l = p_1\upsilon_1 \frac{\left[1 - \left(\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}\right)^{n-1}\right]}{n-1} \qquad l = p_1\upsilon_1 \frac{\left[1 - \frac{T_2}{T_1}\right]}{n-1}$$

$$l = \frac{p_1\upsilon_1 - p_2\upsilon_2}{n-1} \qquad l = \frac{R \cdot (T_2 - T_1)}{n-1}$$

$$l = \frac{R \cdot T_1\left[1 - \left(\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}\right)^{n-1}\right]}{n-1} \qquad l = \frac{R \cdot T_1\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]}{n-1}$$

Теплота, подведенная в процессе

Для расчета теплоты используем основное уравнение $q = \int_1^2 c_n \cdot dT$.

Теплоемкость газа в политропном процессе определим из $n = \frac{c_n - c_p}{c_n - c_\upsilon}$

$c_n = \frac{c_\upsilon (n-k)}{n-1}$.

Тогда $q = \int_1^2 c_\upsilon \cdot \frac{n-k}{n-1} dT$ и, после интегрирования, $q = \frac{(u_2 - u_1)\cdot(n-k)}{n-1}$,

где $k = \frac{h_2 - h_1}{u_2 - u_1}$. При приближенных вычислениях принимают $c_\upsilon = const$, $k = const$. Тогда

$$q = c_\upsilon \cdot \frac{n-k}{n-1}(T_2 - T_1).$$

Задание экзаменационного билета № 2.4 (10 баллов)

Задание 2.4.1
Законы излучения абсолютно черного тела.

Задание 2.4.2
Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние внешних факторов.

Задание 2.4.3
Критериальные уравнения конвективного теплообмена. Безразмерные критерии подобия (Рейнольдса, Прандтля, Релея, Пекле, Грасгофа, Нуссельта).

Задание 2.4.4
Аналогия процессов тепло- и массопереноса.

Задание 2.4.5
Основные уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов. Средний температурный напор.

Задание 2.4.6
Расчет коэффициента теплоотдачи при вынужденном обтекании плоской пластины для ламинарного течения.

Задание 2.4.7
Дифференциальное уравнение теплопроводности как частный случай первого начала термодинамики применительно к процессу молекулярного переноса теплоты в неподвижной изотропной сплошной среде.

Задание 2.4.8
Расчет теплового потока в плоской одно- и многослойной стенке в стационарных условиях при граничных условиях I рода.

Задание 2.4.9
Расчет теплового потока в плоской одно- и многослойной стенке в стационарных условиях при граничных условиях III рода.

Задание 2.4.10
Расчет теплового потока в одно- и многослойной цилиндрической стенке в стационарных условиях при граничных условиях I рода.

Задание 2.4.11
Расчет теплового потока в одно- и многослойной цилиндрической стенке в стационарных условиях при граничных условиях III рода.

Задание 2.4.12
Коэффициент теплопередачи через плоскую одно- и многослойную стенку.

Задание 2.4.13
Понятие критического диаметра цилиндрической изоляции. Выбор изоляции по её критическому диаметру.

Задание 2.4.14
Расчет максимальной температуры цилиндра для стационарной теплопроводности при наличии внутренних источников тепла (граничные условия I рода).

Задание 2.4.15
Регулярный режим нагрева (охлаждения) тел.

Задание 2.4.16
Режимы течения двухфазных потоков в трубах.

Задание 2.4.17
Теплоотдача при пленочной конденсации на вертикальной стенке.

Задание 2.4.18
Основные закономерности роста и отрыва пузырьков на перегретой стенке.

Задание 2.4.19
Режимы кипения в большом объеме, кривая кипения.

Задание 2.4.20
Кризис кипения в большом объеме, критический тепловой поток

Пример выполнения задания2.4.7

В соответствии с первым началом термодинамики подведённая (отведённая) к некоторому количеству вещества теплота расходуется на изменение внутренней энергии этого количества вещества и совершение им работы.

Очевидно, что этот закон распространяется как на конечное количество вещества, так и на дифференциально малый элемент его объёма массой $dM = \rho \cdot dV$, кг. Для него можно написать: $dQ = dU + \delta L$, Дж.

Для процесса теплопроводности в **неподвижной** среде из всех видов работы разумно учитывать только работу расширения $p \cdot dV$, то есть считать процесс подвода теплоты изобарным. Тогда выражение для подведённой теплоты с использованием понятия энтальпии можно записать как: $d^2Q = d^2H = \rho \cdot dh \cdot dV$. Подвод теплоты d^2Q осуществляется в течение некоторого времени $d\tau$, с, и эта теплота представляет собой теплоту действующего внутри элемента внутреннего источника теплоты мощностью q_v, Вт/м^3, $d^2Q1 = qv \cdot dV \cdot d\tau$ и теплоту d^2Q2, подведённую (отведённую) к элементу через его границы от соседних элементов. Это количество теплоты можно математически выразить через произведение расхождения (дивергенции) вектора плотности результирующего теплового потока на промежуток времени $d\tau$: $d^2Q2 = (-\mathrm{div}\ \mathbf{q}) \cdot d\tau$.

Итак, $\rho d \cdot h \cdot dV = (q_v - \mathrm{div}\ \mathbf{q})\ dV \cdot d\tau$.

Или, сокращая обе части равенства на dV , получим:

$$\rho \cdot \partial h / \partial \tau = qv - \mathrm{div}\ \mathbf{q},\ \mathbf{Вт/м^3}.$$

Изменение во времени энтальпии дифференциально малого объёма dV происходит вследствие действия в нём внутреннего источника теплоты и прихода (расхода) теплоты через границы объёма.

Имея в виду, что тепловое взаимодействие элементарного объёма со своими соседями осуществляется молекулярным путём, то есть действует закон Фурье, а $dh = Cp \cdot dt$, получаем уравнение для температурного поля: $\rho \cdot Cp \cdot \partial t / \partial \tau = q_v - \mathrm{div}\ (-\lambda \cdot \mathbf{grad}\ t)$, Вт/м^3. Здесь температура t – искомая функция пространственных координат расположения элемента dV и временной координаты τ.

Если элементы находятся на границе тела, то для их теплового взаимодействия с окружающими телами записывают дополнительные уравнения: граничные условия

Задание экзаменационного билета № 2.5 (10 балла)

Задание 2.5.1

Воздух, массой 5 кг, при температуре 290 К расширяется в изотермическом процессе, при этом его объём увеличивается в 3 раза. Удельная газовая постоянной 287,1 Дж/(кг*К). Определить работу расширения газа.

Задание 2.5.2

В изохорном процессе, энтальпия 4 кг воздуха увеличивается на 20 кДж, а температура повышается на 5°С. Рассчитать удельную подведённую теплоту. ($R_{возд}$ = 287,1 Дж/(кг·К)).

Задание 2.5.3

Определить среднюю изохорную теплоемкость диоксида азота в интервале температур от 350 до 850 °С, если известно, что внутренняя энергия в начале интервала u_1 = 408,2 кДж/кг, а энтальпия в конце интервала h_2 = 1077,0 кДж/кг. Сравнить результаты с расчетом по МКТТ. Молярная масса μ_{NO2} = 46,0053 кг/кмоль.

Задание 2.5.4

При расширении 10 кг идеального газа совершается работа, равная 20кДж. При этом к газу извне подводится 40кДж теплоты, а его температура повышается на 5°С. Определите среднюю теплоемкость c_n этого процесса и среднюю изохорную теплоемкость c_v газа, выразите их в кДж/(кг·К).

Задание 2.5.5

0,1 кг. двуокиси углерода при давлении $7 \cdot 10^5$ Па и начальной температурой t_1 = 1112 °F расширяются политропно до давления 0,24 МПа. Определить изменение внутренней энергии газа, совершенную работу и количество теплоты. Показатель политропы n =1,11.

Для справки: $t°C = \frac{t°F-32}{1.8}$;

CO_2		
t°C	h, кДж/кг	u, кДж/кг
600	817,54	652,58
512	713.75	565.41

Задание 2.5.6

Диоксид углерода совершает работу адиабатно обратимо в газовой турбине от начального состояния t_1 = 1000 °С, p_1 = 1,799 МПа до конечного давления 0,1 МПа. Определить удельную работу турбины. Использовать справочник свойств газов.

CO_2			
t°C	h, кДж/кг	u, кДж/кг	π_0
1000	1317,6	1077,0	5872,7
546	753,51	598,75	326,41

Задание 2.5.7

Рассчитать удельную энтропию воздуха при температуре 250 °С и давлении 1,5 МПа. Принять за начало отсчёта нормальные условия.

Для справки: Нормальным условиям соответствуют:

Давление 101,325 кПа; Температура 0°С

Воздух	
t°C	S^0
250	7,4314
0	6,7767

Задание 2.5.8

Рассчитать работу газовой турбины приходящейся на1 кг рабочего тела со свойствами воздуха, если температура на входе в турбину 940°С, на выходе 450 °С.

Воздух		
t°C	h, кДж/кг	u, кДж/кг
940	1293,6	945,40
450	738,64	531,06

Задание 2.5.9

Заданы параметры: P =100 бар, t =270°С. Определить состояние и найти v, h, s. Представить точку в PV, PT, HS, TS - диаграммах.

Таблица I. Свойства водяного пара в состоянии насыщения:

t	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	s''-s'
270	5,5028	0,0013030	0,035622	1185,1	2789,7	1604,6	2,9762	5,9304	2,9542

Таблица III. Свойства воды и водяного пара в однофазной области:

t	p= 9,0 МПа			p= 9,5 МПа			p= 10,0 МПа			p= 10,5 МПа		
	$t_{нас}$ = 303,35			$t_{нас}$ = 307,25			$t_{нас}$ = 311,00			$t_{нас}$ = 314,61		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
250	0,0012429	1085,7	2,7814	0,0012420	1085,7	2,7802	0,0012412	1085,7	2,7791	0,0012403	1085,7	2,7779
260	0,0012673	1134,2	2,8733	0,0012663	1134,2	2,8720	0,0012653	1134,1	2,8708	0,0012644	1134,1	2,8695
270	0,0012946	1184,0	2,9658	0,0012934	1183,9	2,9644	0,0012923	1183,7	2,9629	0,0012911	1183,6	2,9615
280	0,0013254	1235,3	3,0594	0,0013240	1235,1	3,0577	0,0013226	1234,8	3,0561	0,0013213	1234,6	3,0545
290	0,0013608	1288,5	3,1547	0,0013591	1288,1	3,1528	0,0013574	1287,7	3,1510	0,0013557	1287,4	3,1491

Задание 2.5.10

Водяной пар расширяется в турбине адиабатно и обратимо от параметров: P_1 = 160 бар; t_1 =560 °С до давления 0,04 бар. Найти мощность турбины если расход пара G = 360 т/час. Представить процесс в PV, HS, TS - диаграммах.

Таблица III. Свойства воды и водяного пара в однофазной области:

t	p= 15,0 МПа			p= 16,0 МПа			p= 17,0 МПа			p= 18,0 МПа		
	$t_{нас}$ = 342,16			$t_{нас}$ = 347,36			$t_{нас}$ = 352,29			$t_{нас}$ = 356,99		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
550	0,022945	3450,5	6,5230	0,021353	3439,8	6,4832	0,019948	3429,1	6,4451	0,018698	3418,3	6,4085
560	0,023350	3477,5	6,5556	0,021740	3467,3	6,5164	0,020318	3457,0	6,4788	0,019054	3446,6	6,4427
570	0,023749	3504,2	6,5875	0,022121	3494,4	6,5488	0,020684	3484,6	6,5117	0,019406	3474,6	6,4762

Таблица II. Свойства водяного пара в состоянии насыщения:

p	t	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	s''-s'
0,0040	28,96	0,0010041	34,792	121,40	2553,7	2432,3	0,4224	8,4735	8,0510

Задание 2.5.11

Начальное состояние пара: t = 150 °С, X = 0,7. Пар расширяется изотермически до давления 0,5 бар. Найти q, показать ход решения для нахождения работы. Представить процесс в PV, HS, TS - диаграммах.

Таблица I. Свойства водяного пара в состоянии насыщения:

t	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	s''-s'
150	0,47610	0,0010905	0,39250	632,25	2745,9	2113,7	1,8420	6,8370	4,9951

Таблица III. Свойства воды и водяного пара в однофазной области:

t	p= 45 кПа			p= 50 кПа			p= 60 кПа			p= 70 кПа		
	$t_{нас}$ = 78,71			$t_{нас}$ = 81,32			$t_{нас}$ = 85,93			$t_{нас}$ = 89,93		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
150	4,3239	2780,6	7,9905	3,8899	2780,2	7,9412	3,2388	2779,5	7,8557			

Задание 2.5.12

Влажный воздух нагревается от температуры на входе в калорифер t_1 = 25°C до t_2 = 70°C - на выходе. Используя h-d диаграмму определить относительную влажность и удельную энтальпию влажного воздуха на выходе из калорифера, если температура мокрого термометра на входе $t_м$ = 15°C.

Задание 2.5.13

Водяной пар при давлении P_0=2,2 МПа и температуре t_0=450°C поступает к суживающим соплам. Давление за соплами $P_{ср}$= 0,2 МПа. Определить скорость истечения пара. Изобразить процесс в диаграммах h,S и T,S. *При решении некоторые величины можно округлить до табличных значений.*

Для справки: $\beta = \frac{p_{ср}}{p_0}$; Давление кризиса течения $p_2 = p_0 \cdot \beta_{кр}$; $\beta_{кр} = 0{,}546$

Таблица III. Свойства воды и водяного пара в однофазной области:

t	p= 1,8 МПа			p= 2,0 МПа			p= 2,2 МПа			p= 2,4 МПа		
	$t_{нас}$ = 207,12			$t_{нас}$ = 212,38			$t_{нас}$ = 217,26			$t_{нас}$ = 221,80		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
450	0.18208	3360,7	7.3377	0.16354	3358,1	7.2863	0.14836	3355,4	7.2396	0.13571	3352,7	7,1

t	p= 1,0 МПа			p= 1,2 МПа			p= 1,4 МПа			p= 1,6 МПа		
	$t_{нас}$ = 179,89			$t_{нас}$ = 187,96			$t_{нас}$ = 195,05			$t_{нас}$ = 201,38		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
360	0,28734	3179,4	7,3366	0,23862	3175,6	7,2479	0,20382	3171,7	7,1722	0,17771	3167,8	7,1060
370	0,29217	3200,6	7,3699	0,24269	3197,0	7,2815	0,20733	3193,3	7,2061	0,18082	3189,6	7,1401
380	0.29699	3221.9	7.4026	0.24674	3218.4	7.3145	0.21084	3214.9	7.2394	0.18391	3211.3	7.1737

Задание 2.5.14

Определить мощность ГТУ с рабочим телом со свойствами воздуха, работающей по обыкновенному циклу Брайтона. С параметрами на входе в компрессор: p_1 = 0,1 МПа, t_1 = 16 °C, степень повышения давления в компрессоре β = 8,47, температура на выходе из камеры сгорания t_3 = 1150 °C; расход газа через турбину G = 500 т/час.

Воздух			
t°C	h, кДж/кг	u, кДж/кг	π_0
16	289,67	207,57	1,2203
256	533,50	381,60	10,336
1150	1543,6	1135,1	483,27
566	865,57	624,69	57,05

Задание 2.5.15

Определить термический КПД ПТУ, работающей по обыкновенному циклу Ренкина. Параметры пара перед турбиной p_1 = 120 бар и t_1 = 560 °C, давление в конденсаторе p_2 = 0,04 бар. Представить схему ПТУ и цикл в T-s и p-v координатах.

Таблица III. Свойства воды и водяного пара в однофазной области:

t	p= 11,0 МПа			p= 11,5 МПа			p= 12,0 МПа			p= 12,5 МПа		
	$t_{нас}$ = 318,08			$t_{нас}$ = 321,44			$t_{нас}$ = 324,68			$t_{нас}$ = 327,82		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
560	0.032704	3517,2	6.7356	0.031180	3512,3	6.7106	0.029782	3507,4	6.6864	0.028497	35	

Таблица II. Свойства водяного пара в состоянии насыщения:

p	t	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	s''-s
0,0040	28,96	0,0010041	34,792	121,40	2553,7	2432,3	0,4224	8,4735	8,0510

Задание 2.5.16

Рассчитать мощность газовой турбины, если на входе параметры рабочего тела p_1 = 4 МПа и t_1 = 860 °С, а на выходе p_2 = 1 МПа. Внутренний относительный КПД турбины $\eta_{0i}^{T} = 0{,}91$. Рабочее тело обладает свойствами воздуха, его расход 24 кг/с.

Изобразить процесс на Ts – диаграмме.

Воздух		
t°C	h, кДж/кг	π_0
860	1199,9	188,36
524	818,98	47,086
525	820,08	47,312

Задание 2.5.17

Определить температуру воздуха на выходе из турбины, если на входе параметры рабочего тела p_1 = 4 МПа и t_1 = 860 °С, а на выходе p_2 = 1 МПа. Внутренний относительный КПД турбины $\eta_{0i}^{T} = 0{,}91$. Изобразить процесс на Ts – диаграмме.

Воздух		
t°C	h, кДж/кг	π_0
860	1199,9	188,36
524	818,98	47,086
525	820,08	47,312
532	852,11	35,417
533	853,23	35,583
534	854,36	35,751
535	855,48	35,919

Задание 2.5.18

Определить мощность воздушного компрессора, если на входе параметры рабочего тела p_1 = 100 кПа и t_1 = 20 °С, а на выходе p_2 = 620 кПа. Внутренний относительный КПД компрессора $\eta_{0i}^{T} = 0{,}86$. Расход воздуха 2,4 кг/с. Изобразить процесс на Ts – диаграмме.

Воздух		
t°C	h, кДж/кг	π_0
20	293,39	1,2784
218	494,08	7,8910
219	495,11	7,9487

Задание 2.5.19

Определить температуру воздуха на выходе из компрессора, если на входе параметры рабочего тела p_1 = 100 кПа и t_1 = 20 °С, а на выходе p_2 = 620 кПа. Внутренний относительный КПД компрессора $\eta_{0i}^{T} = 0{,}86$. Изобразить процесс на Ts – диаграмме.

Воздух		
t°C	h, кДж/кг	π_0
20	293,39	1,2784
218	494,08	7,8910
219	495,11	7,9487
249	525,04	9,8308
250	527,08	9,8988
251	528,11	9,9681
252	529,15	10,035

Задание 2.5.20

Определить мощность дизельного двигателя с расходом топлива (дизельное топливо с теплотворной способностью 44,8 МДж/дм^3) на номинальном режиме 16 дм^3/час. Внутренний относительный КПД цикла 0,78. Термический КПД 0,54.

Пример выполнения задания 2.5.1

$$L = mRT \cdot \ln\frac{v_2}{v_1} = 5 \cdot 287{,}1 \cdot 290 \cdot \ln 3 = 457{,}3 \text{ кДж}$$

Задание экзаменационного билета № 2.6 (10 баллов)

Задание 2.6.1

Найти теплоотдачу с 1 м нагретой горизонтальной трубы диаметром 32 мм, проложенной в бассейне с температурой 20 °С, температура поверхности трубы 40 °С.

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
–20	1,395	1,009	2,28	16,2	12,79	0,716
–10	1,342	1,009	2,36	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	0,698

Задание 2.6.2

Найти тепловой поток с поверхности нагретой вертикальной трубы диаметром 51 мм и длиной 3 м, проложенной в бассейне с температурой 10 °С, температура поверхности трубы 30 °С.

Таблица П.3. **Физические свойства воды в состоянии насыщения**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
0	999,9	4,212	55,1	1,789	–0,63	756,4	13,67
10	999,7	4,191	57,4	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	998,2	4,183	59,9	1,006	1,82	726,9	7,02
30	995,7	4,174	61,8	0,805	3,21	712,2	5,42
40	992,2	4,174	63,5	0,659	3,87	696,5	4,31

Задание 2.6.3

Горизонтальный трубопровод диаметром 30 мм проложен в помещении, температура воздуха в котором 20 °С. Найти тепловые потери с поверхности трубопровода, если его длина 3 м, а средняя температура воды в трубе 60 °С. Термическим сопротивлением от воды к внутренней стенке трубы теплопроводности стенки трубы пренебречь

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
–20	1,395	1,009	2,28	16,2	12,79	0,716
–10	1,342	1,009	2,36	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	0,698

Задание 2.6.4

Найти потери теплоты от наружной стены здания, если температура стены 5 °C, высота стенки 3 м, ширина стены 12 м. Температура наружного воздуха -25 °C

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
–20	1,395	1,009	2,28	16,2	12,79	0,716
–10	1,342	1,009	2,36	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	0,703

Задание 2.6.5

Стенка тигельной печи высотой 1 м и шириной 0,5 м имеет наружную температуру 95 °C. Найти потери с поверхности печи, если температура воздуха в помещении, в котором установлена печь, 25 °C

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	23,13	0,688

Задание 2.6.6

Трубы с наружным диаметром 50 мм в коридорном пучке. Снаружи трубы омываются воздухом, на гретым до 600 °С и движущимся поперек труб со скоростью 15 м/с. Найти средний коэффициент теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности труб в глубинном ряду пучка.

Таблица П.6. Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
500	0,456	1,093	5,74	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	44,3	134,8	0,713

Задание 2.6.7

Пластина длиной 500 мм и шириной 0,2 м имеет температуру 30 °С. Продольный поток воды омывает пластину со скоростью 0,05м/с. Температура воды 70 °С. Найти тепловой поток от воды к стенке.

Таблица П.3. Физические свойства воды в состоянии насыщения

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
30	995,7	4,174	61,8	0,805	3,21	712,2	5,42
40	992,2	4,174	63,5	0,659	3,87	696,5	4,31
50	988,1	4,174	64,8	0,556	4,49	676,9	3,54
60	983,2	4,179	65,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	977,8	4,187	66,8	0,415	5,70	643,5	2,55

Задание 2.6.8

Вода с начальной температурой 90 °С входит в горизонтальную трубу диаметром 20х1 мм и охлаждается. Стенка трубы имеет среднюю температуру 20°С, расход воды 273 кг/ч. Найти длину трубы, на выходе из которой вода будет иметь температуру 30 °С

Таблица П.3. Физические свойства воды в состоянии насыщения

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
0	999,9	4,212	55,1	1,789	–0,63	756,4	13,67
10	999,7	4,191	57,4	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	998,2	4,183	59,9	1,006	1,82	726,9	7,02
30	995,7	4,174	61,8	0,805	3,21	712,2	5,42
40	992,2	4,174	63,5	0,659	3,87	696,5	4,31
50	988,1	4,174	64,8	0,556	4,49	676,9	3,54

Задание 2.6.9

Найти коэффициент теплоотдачи при движении воздуха со скоростью 11 м/с по горизонтальной трубе диаметром 35х2,5 мм и длиной 5 м. Средняя температура воздуха 40 °С, а стенки трубы 20 °С. Найти температуру воздуха на входе и выходе из трубы

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,96	0,699

Задание 2.6.10

По горизонтальному трубопроводу диаметром 55х2,5 мм движется воздух со скоростью 4,6 м/с и температурой 90 °С. Темпера тура стенки трубы 50 °С. Определить коэффициент теплоотдачи от воздуха к трубе. Во сколько раз изменится коэффициент теплоотдачи, если воздух заменить водой, протекающей со скоростью 1,2 м/с, а остальные условия оставить прежними?

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	23,13	0,688

Задание 2.6.11

Определить поверхность нагрева рекуперативного газовоздушного теплообменника при прямоточной схеме движения теплоносителей, если тепловая мощность теплообменника 150 кВт, средний коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху 19 Вт/(м^2·К), начальные и конечные температуры продуктов сгорания соответственно равны 600 °С; 400 °С; начальные и конечные температуры воздуха соответственно равны 20 °С; 300 °С.

Задание 2.6.12

Определить поверхность нагрева рекуперативного газовоздушного теплообменника при противоточной схеме движения теплоносителей, если тепловая мощность теплообменника 250 кВт, средний коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху 23 Вт/(м^{2}К), начальные и конечные температуры продуктов сгорания соответственно равны 580 °С; 420 °С, начальные и конечные температуры воздуха соответственно равны 10 °С; 280 °С.

Задание 2.6.13

Определить конечную температуру дымовых газов на выходе из воздухоподогревателя, если расход дымовых газов 14 кг/с, их начальная температура равна 590 °С. Расход

воздуха 10 кг/с, начальные и конечные температуры воздуха соответственно равны 20 °С; 280 °С.

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
120	0,898	1,009	3,34	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	25,3	32,49	0,681

Таблица П.7. **Физические свойства дымовых газов**
(p = 0,101 МПа; r_{CO_2} = 0,13; r_{H_2O} = 0,11; r_{N_2} = 0,76)

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
300	0,617	1,122	4,84	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	93,61	0,62

Задание 2.6.14

Определить конечную температуру нагрева воздуха на выходе из воздухоподогревателя, если расход дымовых газов 15 кг/с, их начальная и конечная температуры дымовых газов соответственно равны 580 °С, 420 °С. Расход воздуха 11 кг/с, начальная температура воздуха равна 25 °С.

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
200	0,746	1,026	3,93	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	31,4	55,46	0,676

Таблица П.7. **Физические свойства дымовых газов**
(p = 0,101 МПа; r_{CO_2} = 0,13; r_{H_2O} = 0,11; r_{N_2} = 0,76)

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr

400	0,525	1,151	5,70	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	93,61	0,62

Задание 2.6.15

Какое количество воздуха можно нагреть в воздухоподогревателе, если начальная и конечная температуры воздуха соответственно равны 20 °С и 180 °С. Расход дымовых газов 20 кг/с, их начальная и конечная температуры 530 °С и 250 °С.

Таблица П.6. **Физические свойства сухого воздуха (p = 0,101 МПа)**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	μ, 10^{-6} Па · с	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	23,13	0,688

Таблица П.7. **Физические свойства дымовых газов**
(p = 0,101 МПа; r_{CO_2} = 0,13; r_{H_2O} = 0,11; r_{N_2} = 0,76)

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
300	0,617	1,122	4,84	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	93,61	0,62

Задание 2.6.16

Сухой насыщенный пар с температурой насыщения 140 °С охлаждается на вертикальной стенке камеры, температура которой 130 °С. Рассчитать толщину пленки конденсата, стекающей по стенке, и локальный коэффициент теплоотдачи на расстоянии 0,4 м от верхней кромки стенки.

Таблица П.3. **Физические свойства воды в состоянии насыщения**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
120	943,1	4,250	68,6	0,252	8,64	548,4	1,47
130	934,8	4,266	68,6	0,233	9,19	528,8	1,36
140	926,1	4,287	68,5	0,217	9,72	507,2	1,26

Таблица П.4. Физические свойства водяного пара в состоянии насыщения

t, °C	p, 10^5 Па	ρ, кг/м^3	r, кДж/кг	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
120	1,98	1,121	2202,8	2,206	2,593	11,46	1,09
130	2,70	1,496	2174,3	2,257	2,686	8,85	1,11
140	3,61	1,966	2145,0	2,315	2,791	6,89	1,12

Задание 2.6.17

На наружной поверхности горизонтальной трубки диаметром 20 мм конденсируется сухой насыщенный водной пар при давлении 0,01233 МПа. Определить коэффициент теплоотдачи. Температура стенки 20 °С.

Таблица П.3. Физические свойства воды в состоянии насыщения

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
150	917,0	4,313	68,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	907,4	4,346	68,3	0,191	10,7	466,0	1,10
170	897,3	4,380	67,9	0,181	11,3	443,4	1,05

Таблица П.4. Физические свойства водяного пара в состоянии насыщения

t, °C	p, 10^5 Па	ρ, кг/м^3	r, кДж/кг	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
40	0,0738	0,05117	2406	1,895	1,953	200,7	1,00
50	0,1233	0,08303	2382	1,907	2,034	127,5	0,99
60	0,1992	0,1302	2358	1,923	2,122	83,88	0,99

Задание 2.6.18

На внешней поверхности трубы кипит вода при давлении 27,98 бар. Тепловая нагрузка равна 256 кВт/м^2. Определить температуру поверхности трубы.

Таблица П.3. Физические свойства воды в состоянии насыщения

t, °C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
220	840,3	4,614	64,5	0,149	14,8	331,6	0,89
230	827,3	4,681	63,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	813,6	4,756	62,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	799,0	4,844	61,8	0,137	18,1	261,9	0,86

Таблица П.4. Физические свойства водяного пара в состоянии насыщения

t, °C	p, 10^5 Па	ρ, кг/м^3	r, кДж/кг	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
220	23,20	11,62	1857,8	3,408	3,896	1,45	1,47
230	27,98	13,99	1813,0	3,634	4,094	1,24	1,54
240	33,48	16,76	1765,6	3,881	4,291	1,06	1,61

Задание 2.6.19

Определить тепловую нагрузку при кипении воды, если температура стенки 110 °С. Давление воды 0,101 МПа.

Таблица П.3. **Физические свойства воды в состоянии насыщения**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
100	958,4	4,220	68,3	0,295	7,52	588,6	1,75
110	951,0	4,233	68,5	0,272	8,08	569,0	1,60
120	943,1	4,250	68,6	0,252	8,64	548,4	1,47

Таблица П.4. **Физические свойства водяного пара в состоянии насыщения**

t, °С	p, 10^5 Па	ρ, кг/м^3	r, кДж/кг	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
100	1,013	0,598	2256,8	2,135	2,372	20,02	1.08
110	1,43	0,826	2230,0	2,177	2,489	15,07	1,09
120	1,98	1,121	2202,8	2,206	2,593	11,46	1,09

Задание 2.6.20

Определить коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки испарителя в кипящей воде и тепловой поток при пузырьковом кипении воды в большом объеме, если температура поверхности трубки 170 °С, а вода находится под давлением 0,618 МПа. Наружный диаметр трубки 40 мм, ее длина 5 м.

Таблица П.3. **Физические свойства воды в состоянии насыщения**

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	β, 10^{-4} К$^{-1}$	σ, 10^{-4} Н/м	Pr
150	917,0	4,313	68,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	907,4	4,346	68,3	0,191	10,7	466,0	1,10
170	897,3	4,380	67,9	0,181	11,3	443,4	1,05

Таблица П.4. **Физические свойства водяного пара в состоянии насыщения**

t, °С	p, 10^5 Па	ρ, кг/м^3	r, кДж/кг	c_p, кДж/(кг · К)	λ, 10^{-2} Вт/(м · К)	ν, 10^{-6} м^2/с	Pr
150	4,76	2,547	2114,3	2,395	2,884	5,47	1,16
160	6,18	3,258	2092,6	2,479	3,012	4,39	1,18
170	7,92	4,122	2049,5	2,583	3,128	3,57	1,21

Пример выполнения задания 2.6.3

Определяющая температура

$$t := \frac{t_0 + t_c}{2} = 40\ °C$$

Свойства воздуха при t=40 °С:

$$\lambda = 0{,}0276\ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};\ \nu = 16{,}96 \cdot 10^{-6}\frac{\text{м}^2}{\text{с}};\ Pr = 0{,}699;\ \beta = \frac{1}{40 + 273} = 0{,}003\frac{1}{\text{К}}$$

Число Грасгофа

$$Gr := \frac{g \cdot \beta \cdot (t_c - t_0) \cdot d^3}{\nu^2} = 1.176 \cdot 10^5$$

Число Рэлея

$$Ra := Gr \cdot Pr = 8.219 \cdot 10^4$$

$10^4 < Ra < 10^7$

Число Нуссельта

$$Nu := 0.5 \cdot Ra^{0.25} = 8.466$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha := Nu \cdot \frac{\lambda}{d} = 7.789 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Плотность теплового потока

$$Q := \pi \cdot d \cdot l \cdot \alpha \cdot (t_c - t_0) = 88.088 \ W$$

Блок №3 Технология воды и топлива в энергетике

Задание экзаменационного билета № 3.1 (10 баллов)

Задание 3.1.1
Что такое массовая концентрация?
1) количество молей растворенного вещества в единице объема раствора
2) масса растворенного вещества в единице объема раствора
3) масса растворенного вещества в единице массы раствора
4) масса растворителя в единице массы раствора

Задание 3.1.2
Что такое массовая доля растворенного вещества?
1) отношение массы растворенного вещества к массе раствора
2) отношение массы растворенного вещества к массе растворителя
3) отношение массы растворителя к массе раствора
4) отношение массы растворителя к массе растворенного вещества

Задание 3.1.3
Общая жесткость воды разделяется на
1) гидратную и некарбонатную жесткости
2) гидратную и карбонатную жесткости
3) карбонатную и бикарбонатную жесткости
4) карбонатную и некарбонатную жесткости

Задание 3.1.4
Какой реагент может быть использован в качестве коагулянта при совместном проведении коагуляции и известкования?
1) оксихлорид алюминия
2) сернокислый алюминий
3) полиакриламид
4) сернокислое железо

Задание 3.1.5
Какие примеси позволяет удалить обработка воды методом осаждения?
1) металлы
2) растворенные газы
3) коллоидные
4) истинно-растворенные

Задание 3.1.6
Как изменяется солесодержание воды в поверхностном источнике водоснабжения в паводковый период?
1) увеличивается
2) остается постоянным
3) уменьшается
4) сначала уменьшается, потом увеличивается

Задание 3.1.7
Как изменяется щелочность воды в поверхностном источнике водоснабжения в паводковый период?
1) увеличивается

2) остается постоянной
3) уменьшается
4) сначала уменьшается, потом увеличивается

Задание 3.1.8
Как изменяется жесткость воды в поверхностном источнике водоснабжения в паводковый период?
1) увеличивается
2) остается постоянной
3) уменьшается
4) сначала уменьшается, потом увеличивается

Задание 3.1.9
Как влияют сельскохозяйственные стоки на качество воды поверхностного источника водоснабжения?
1) снижают концентрацию ГДП
2) снижают окисляемость
3) повышают прозрачность
4) увеличивают мутность

Задание 3.1.10
В каких водах обычно выше щелочность: поверхностных или подземных?
1) поверхностных
2) подземных (артезианских)
3) обычно примерно одинакова
4) щелочность в обеих типах вод отсутствует

Пример выполнения задания
Концентрация каких примесей снижается в осветлителе при коагуляции?
1) солей общей жесткости
2) хлоридов
3) органических
4) сульфатов

Коагуляция примесей воды - это процесс укрупнения мельчайших коллоидных частиц, происходящий вследствие их взаимного слипания под действием сил молекулярного притяжения. В водоподготовке под коагуляцией воды понимают обработку ее специальными веществами – коагулянтами с целью удаления из нее коллоидных и других органических загрязнений.
Правильный ответ – 3

Задание экзаменационного билета № 3.2 (10 баллов)

Задание 3.2.1
В какую окраску переходит раствор при титровании бикарбонатной щелочности в присутствии метилоранжа?
1) оранжевая
2) бесцветная
3) желтую
4) фиолетовая

Задание 3.2.2
Какие действия следует предпринять в том случае, если анализируемая проба на щелочность не окрасилась от прибавления фенолфталеина?
1) повторно отобрать пробу
2) ввести метилоранж
3) титровать до появления окраски
4) добавить ещё фенолфталеин

Задание 3.2.3
Какой расход кислоты отвечает суммарному содержанию щелочных соединений?
1) от начала титрования щелочности и до изменения окраски метилоранжа
2) от изменения окраски фенолфталеина до изменения окраски метилоранжа
3) от начала титрования щелочности и до изменения окраски фенолфталеина
4) на титрование гидролитически щелочных солей до изменения окраски индикатора

Задание 3.2.4
По какой причине бикарбонатная и гидратная щелочности не могут совместно присутствовать в растворе?
1) взаимодействие с образованием карбонатов
2) реакция с образованием соляной кислоты
3) реакция гидратации
4) взаимодействие с присоединением водорода

Задание 3.2.5
Укажите анионы, обуславливающие бикарбонатную щелочность воды
1) HCO_3^-
2) CO_3^{2-}
3) OH^-
4) H^+

Задание 3.2.6
Укажите анионы, обуславливающие карбонатную щелочность воды
1) HCO_3^-
2) CO_3^{2-}
3) OH^-
4) H^+

Задание 3.2.7
Укажите анионы, обуславливающие гидратную щелочность воды
1) HCO_3^-
2) CO_3^{2-}
3) OH^-
4) H^+

Задание 3.2.8
Укажите индикаторы, используемые при определении щелочности воды.
1) Метиловый оранжевый. Фенолфталеин. Смешанный индикатор
2) Кислотный хром темносиний. Метиловый оранжевый.
3) Фенолфталеин. Метиловый красный.
4) Кислотный хром темносиний. Мурексид.

Задание 3.2.9
Дайте определение жесткости воды
1) содержание катионов кальция и магния, выраженное в миллиграмм-эквивалентах в кубическом дециметре
2) содержание катионов, находящихся в воде, выраженное в миллиграмм-эквивалентах в кубическом дециметре
3) содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными кислотами
4) содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными основаниями

Задание 3.2.10
По какой причине жесткая вода не пригодна для подпитки паровых котлов?
1) при кипячении образуется накипь вследствие оседания солей кальция и магния
2) при кипячении воду покидает кислород, а в осадок выпадает значительная часть катионов
3) при кипячении в воде известь и другие минералы, химические элементы, кристаллизуются и оседают на стенки и дно кипятильного оборудования
4) при кипячении ионы жесткости образуют с анионами сильных кислот малорастворимые соединения, которые откладываются на стенках труб

Пример выполнения задания
По заданной максимальной производительности осветлителя Q = 100 м^3/ч, дозе извести $Д_и$ = 1,5 мг-экв/дм^3), концентрации дозируемого известкового молока в мешалке $C_{реаг}$ = 1500 мг-экв/дм^3, определите часовой расход известкового молока на осветлитель из мешалки

1) 10 дм^3/ч
2) 100 м^3/ч
3) 100 дм^3/ч
4) 10 м^3/ч

$g_и$ = (Qосв·Ди·1000)/Си = (100·1,5·1000)/1500 = 100 дм^3/ч
Правильный ответ – 3.

Задание экзаменационного билета № 3.3 (10 баллов)

Задание 3.3.1
Двухступенчатая схема обессоливания добавочной воды на ТЭС. Особенности и условия применения.

Задание 3.3.2
Трёхступенчатая схема обессоливания добавочной воды на ТЭС. Особенности и условия применения.

Задание 3.3.3
Схемы подготовки умягченной воды для тепловых сетей. Особенности и условия применения.

Задание 3.3.4
Технологические показатели качества воды.

Задание 3.3.5
Предварительная очистка воды методами осаждения. Физико-химические процессы, протекающие в воде при коагуляции и известковании.

Задание 3.3.6
Предварительная очистка воды методами фильтрования. Осветительные фильтры насыпного и намывного типа.

Задание 3.3.7
Закон электронейтральности и проведение проверки правильности анализа состава водного источника (с примером).

Задание 3.3.8
Блочно-обессоливающая установка. Особенности и условия применения.

Задание 3.3.9
Мембранные методы очистки воды. Способы опреснения и обессоливания воды с использованием мембран.

Задание 3.3.10
Термические методы очистки воды. Процесс очистки воды в испарителях.

Пример выполнения задания 3.3.7

Примеси в водах содержатся в трех видах:

- Грубодисперсные примеси (диаметр более 100 нм)
- Коллоидные примеси (диаметр от 1 до 100 нм)
- Ионы (диаметр менее 1 нм)

В грубодисперсной форме могут находиться: песок, частицы продуктов коррозии.

Коллоидные примеси: оксиды кремния, железа, алюминия, органические примеси.

В ионной форме в водах находятся: кальций, магний, натрий, хлориды, сульфаты, растворенные газы.

Наличие взвешенных веществ можно определить с помощью трех показателей:

- Взвешенные вещества, [г/дм^3]
- Прозрачность, [см]
- Мутность, [г/дм^3]

Минеральный остаток (общее солесодержание) – сумма концентраций всех содержащихся в воде катионов, анионов, оксидов Al_2O_3 , Fe_2O_3 .[мг/дм^3]

Концентрация основных ионов определяется методом химического анализа.

Закон электронейтральности

Сумма концетраций всех имеющихся в воде катионов равна сумме анионов:

$$\boxed{\sum C_{Kt} = \sum C_{An}, \left[\frac{\text{мг} - \text{экв}}{\text{дм}^3}\right]}$$

При проведенном химическом анализе допускается ошибка Δ в определении ионов:

$$\Delta = \frac{\sum C_{Kt} - \sum C_{An}}{\sum C_{Kt} + \sum C_{An}} \cdot 100\% < 1\%$$

Переведём исходную массовую концентрацию в нормальную (эквивалентную) по следующей формуле:

$$C_n = \frac{C_m \cdot n}{Mr},$$

Осуществим проверку правильности химического анализа воды, составлением катионно-анионного баланса:

$$\sum K_t = \text{Ca}^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} = 1{,}4 + 1{,}417 + 1{,}57 = 4{,}385 \text{ мг} - \text{экв/л}$$

$$\sum A_n = HCO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^- + SiO_3^{2-} = 2{,}705 + 0{,}66 + 0{,}958 + 0{,}15 = 4{,}473 \text{ мг} - \text{экв/л}$$

$$\Delta = \frac{|K_t - A_n|}{K_t + A_n} * 100\% = \frac{|4{,}385 \ - 4{,}473\ |}{4{,}385 \ + 4{,}473} * 100\% = 0{,}978\%$$

Так как $\Delta < 1\%$, то полученный анализ можно использовать для дальнейшего расчёта.

Задание экзаменационного билета № 3.4 (10 баллов)

Задание 3.4.1

Комплексометрическое титрование. Методика определения жесткости воды.

Задание 3.4.2

Кислотно-основное титрование. Методика определения щелочности воды.

Задание 3.4.3

Основные пути поступления примесей в конденсатно-питательный тракт ТЭС.

Задание 3.4.4

Измерение pH теплоносителя: назначение, принцип измерения.

Задание 3.4.5

Потенциометрический метод измерения концентрации ионов натрия.

Задание 3.4.6

Фотоколориметрический метод анализа состава пробы теплоносителя.

Задание 3.4.7

Измерение удельной электрической проводимости кондуктометрическим методом.

Задание 3.4.8

Амперометрический метод измерения растворенных газов в теплоносителе.

Задание 3.4.9

Декарбонизация. Технология применения декарбонизаторов для подготовки воды на ТЭС.

Задание 3.4.10

Кинетика ионного обмена.

Пример выполнения задания 3.4.3

Существует перечень источников поступления примесей в пароводяной тракт тепловых электрических станций. Краткий перечень представлен в табл.1

Таблица 1

Основные источники примесей

Источники загрязнения	Характеристика загрязнения
Неплотности в конденсаторах и сетевых подогревателях	Соединения, содержащиеся в охлаждающей или сетевой воде
Добавочная вода	Соединения натрия, кремниевая кислота, органические соединения

Коррозия оборудования пароводяного тракта	Соединения железа, меди, цинка, никеля, алюминия и других конструкционных материалов
Подшипники	Масла
Конденсат, возвращаемый с производства	Зависит от технологического цикла, в котором используется пар
Присосы в сальниках насосов	Углекислота, кислород
Реагенты, используемые для коррекции водно-химического режима	Зависит от типа энергетического оборудования, параметров эксплуатации данного оборудования и конструкционных материалов

В зависимости от источника поступления, существуют определённые механизмы поступления примесей в пароводяной тракт ТЭС. Некоторые механизмы рассмотрены ниже.

Неплотности в конденсаторах и сетевых подогревателях. Паровая среда, находится в объёме конденсатора под давлением 3 – 4 кПа. Рабочее давление охлаждающей воды 0,2 – 0,3 МПа. Из-за разницы давлений активизируется процесс «перетока» охлаждающей воды в пароводяной тракт. Вместе с охлаждающей водой, в тракт станции попадают примеси, что приводит к загрязнению теплоносителя. «Перетоки» определятся гидравлической неплотностью оборудования, а именно:

- дефектами структуры металла;
- дефектами монтажа элементов конденсатора;
- зазорами в соединении трубок с трубными досками;
- трещинами в трубах из-за вибрации и термических напряжений;
- коррозионным разрушением стенок труб (сквозные свищи, трещины).

Задание экзаменационного билета № 3.5 (10 баллов)

Задание 3.5.1

В баке мернике находится раствор гидроксида натрия для регенерации анионитных фильтров с концентрацией 4 г/дм^3 (плотность раствора 1,0430 г/см^3). Определите pH этого раствора.

Задание 3.5.2

Определите производительность ВПУ для промышленной ТЭЦ с 4 энергоблоками сверхкритического давления мощностью по 800 МВт/ч при удельном расходе пара 3 т/МВт, работающих на газовом топливе. На производство передается 120 т/ч пара, а возврат конденсата составляет 40 т/ч.

Задание 3.5.3

В баке мернике находится раствор соляной кислоты для регенерации катионитных фильтров с концентрацией 2 % (плотность раствора 1,0080 г/см^3). Определите pH этого раствора.

Задание 3.5.4

Определите производительность ВПУ для ТЭС высокого давления с 4 энергоблока с барабанными котлами, мощность каждого из которых по 800 МВт/ч при удельном расходе пара 3 т/МВт и сжигающей 560 т/ч мазута. Продувку котла примите равной 1%.

Задание 3.5.5

Определите дозу извести при карбонатном режиме известкования, если исходная вода поступает следующего состава [мг-экв/дм^3]: Жо = 4,5; Ca^{2+} = 3,2; Що = 2,5, CO_2 = 0,3; $Д_к$ = 0,5, $И_и$ = 0,2.

Задание 3.5.6

Определите жесткость известково-коагулированной воды ($Жо^{и+к}$), если доза коагулянта $Д_к$ = 0,4 мг-экв/дм^3, избыток извести принять $И_и = Щ_г = C_{OH^-}$ = 0,2 мг-экв/дм^3. Остаточная карбонатная и бикарбонатная щелочность составляет $Щ_{к+бк}^{и+к}$ = 0,6 мг-экв/дм^3.

Показатели качества исходной воды следующие [мг-экв/дм^3]: Na^+ = 0,80; Ca^{2+} = 3,60; Mg^{2+} = 2,00; Cl^- = 0,85; SO_4^{2-} = 4,20; HCO_3^- = 2,40; CO_2 = 0,40.

Задание 3.5.7

Определите дозу извести при гидратном режиме известкования, если исходная вода поступает следующего состава [мг-экв/дм^3]: Жо = 4,5; Ca^{2+} = 3,2; Що = 2,5, CO_2 = 0,3; $Д_к$ = 0,5, $И_и$ = 0,2.

Задание 3.5.8

Определите остаточную щелочность известково-коагулированной воды ($Що^{и+к}$), если доза коагулянта $Д_к$ = 0,4 мг-экв/дм^3, избыток извести принять $И_и = Щ_г = C_{OH^-}$ = 0,15 мг-экв/дм^3, а общая жесткость снизилась на 20%.

Показатели качества исходной воды следующие [мг-экв/дм^3]: Na^+ = 0,80; Ca^{2+} = 3,10; Mg^{2+} = 1,40; Cl^- = 0,85; SO_4^{2-} = 4,20; HCO_3^- = 2,10; CO_2 = 0,40.

Задание 3.5.9

Оцените значение грязеемкости фильтрующего материала однокамерного насыпного осветлительного фильтра диаметром 2,6 м и высотой загрузки 0,9 м, если до момента отключения фильтра из работы через него было пропущено 600 м^3 исходной воды с концентрацией примесей 10 мг/дм^3 за 10 ч.

Задание 3.5.10

Определите объем воды, расходуемый на отмывку однокамерного насыпного осветлительного фильтра диаметром 2,0 м и высотой загрузки 0,9 м, если отмывка осуществлялась со скоростью 12 м/ч в течение 20 мин.

Задание 3.5.11

Рассчитайте фильтроцикл однокамерного насыпного осветлительного фильтра диаметром 3,0 м, с высотой загрузки материала 0,9 м и производительностью 90 м^3/ч, при фильтровании исходной воды с концентрацией примесей 10 мг/дм^3. Грязеемкость фильтрующего материала составляет 2 кг/м^3.

Задание 3.5.12

Определите объем воды, расходуемый на взрыхление однокамерного насыпного осветлительного фильтра диаметром 2,0 м и высотой загрузки 0,8 м, если взрыхление осуществлялось с интенсивностью 12 дм^3/(м^2·с) в течение 20 мин.

Задание 3.5.13

Рассчитайте фильтроцикл ОН-анионитного фильтра II ступени диаметром 2,6 м, с высотой загрузки материала 1,5 м и рабочей обменной емкостью 480 г-экв/м^3, при фильтровании исходной воды щелочностью $Щ_о$ = 4,0 мг-экв/дм^3 со скоростью 10 м/ч, если фильтр отключили из работы сразу после проскока ионов гидрокарбонатов в фильтрат.

Задание 3.5.14
Рассчитайте количество воды для приготовления 4% (ρ = 1,043 г/см^3) регенерационного раствора анионита в фильтре смешанного действия диаметром 2,0 м, высотой загрузки слоя анионита 1,2 м, если удельный расход 100% реагента на одну регенерацию составляет 250 кг.

Задание 3.5.15
Определите значение рабочей обменной емкости катионита до проскока Н-катионитного фильтра I ступени диаметром 3,0 м, с высотой слоя загрузки катионита 1,2 м по заданным значениям: количество обработанной воды за фильтроцикл 1400 м^3, суммарное содержание катионов поступающих на фильтр (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}) = 3,8 мг-экв/дм^3, остаточное содержание ионов Na^{+} в фильтрате составило 0,8 мг-экв/дм^3

Задание 3.5.16
Рассчитайте количество воды для приготовления 1,5% (ρ = 1,009 г/см^3) регенерационного раствора катионита в фильтре смешанного действия диаметром 2,0 м, высотой загрузки слоя катионита 1,0 м, если удельный расход 100% реагента на одну регенерацию составляет 175 кг.

Задание 3.5.17
Определите осмотическое давление водопроводной воды, если ее солесодержание (по NaCl) составляет 0,5 г/дм^3 при температуре 20 ºС. Универсальная газовая постоянная R = 8,31 Дж/(моль·К) и коэффициент Вант-Гоффа i = 2.

Задание 3.5.18
Определите удельную производительность рулонного мембранного модуля радиусом 16 мм и длиной 2 м, если на установку поступает водопроводная вода с расходом 55 л/ч при давлении 0,25 МПа, а гидравлический КПД установки составил 80 %.

Задание 3.5.19
Какое солесодержание воды (по NaCl) необходимо при поступлении ее на мембрану, чтобы величина осмотического давления составляла 27 бар при температуре 25 ºС. Универсальная газовая постоянная R = 8,31 Дж/(моль·К) и коэффициент Вант-Гоффа i = 2.

Задание 3.5.20
Определите селективность мембранного модуля, если концентрация растворенного вещества (по NaCl) в фильтрате составляет 2,0 моль/дм^3, а осмотическое давление при температуре 25 ºС составляет 50 МПа. Универсальная газовая постоянная R = 8,31Дж/(моль·К) и коэффициент Вант-Гоффа i = 2.

Пример выполнения задания 3.5.20
Решение:

$$\pi = i \cdot C \cdot R \cdot T \rightarrow C_{\text{исх}} = \frac{\pi}{i \cdot R \cdot T} = \frac{50 \cdot 10^3}{2 \cdot 8{,}31 \cdot 298} = 10 \text{ моль/дм}^3$$

$$\varphi = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{ф}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100\% = \frac{10 - 2}{10} \cdot 100\% = 80\%$$

Ответ: 80 %

Задание экзаменационного билета № 3.6 (10 баллов)

Задание 3.6.1
Определите общую жесткость воды, если для анализа лаборант отобрала 50 $см^3$ анализируемой пробы воды, добавила 5 $см^3$ аммиачно-буферной смеси, 3 капли индикатора кислотный хром темно-синий и оттитровала ее 0,1 н раствором трилона Б с. Объем титранта, пошедший на титрование составил 4,2 $см^3$.

Задание 3.6.2
Определите необходимое количество серной кислоты концентрацией 49 $мг/дм^3$ для нейтрализации щелочных сточных вод в баке-нейтрализаторе, если уровень воды в баке-нейтрализаторе равен 1,2 м, а его диаметр 1,3 м. Щелочность сточных вод составляет 4,5 $мг\text{-}экв/дм^3$.

Задание 3.6.3
Рассчитайте pH раствора KOH, 350 мл которого содержат 0,0035 моль KOH.

Задание 3.6.4
Рассчитайте изменение pH 0,01M водного раствора аммиака NH_4OH при температуре раствора 25 ºC (константа диссоциации при 25 ºC Кд = $1{,}81\cdot10^{-5}$).

Задание 3.6.5
Какова молярная и нормальная концентрация 12%-ного раствора серной кислоты, плотность которого ρ = 1,0800 $г/см^3$?

Задание 3.6.6
Определите молярную концентрацию хлорида натрия в 24 %-ном растворе его плотностью 1,18 $г/см^3$?

Задание 3.6.7
В баке мернике находится раствор серой кислоты для регенерации катионитных фильтров с концентрацией 30,5 $г/дм^3$ (плотность раствора 1,0185 $г/см^3$). Определите pH этого раствора.

Задание 3.6.8
Сколько мл 56 %-ного раствора серной кислоты плотностью 1,46 $г/см^3$ нужно для приготовления 3 л 2 н раствора?

Задание 3.6.9
Для нейтрализации кислотных промышленных стоков используется гашеная известь (гидроксид кальция). Рассчитайте pH 0,02M раствора $Ca(OH)_2$.

Задание 3.6.10
Вычислить карбонатную жесткость воды, зная, что на титрование 100 мл этой воды, содержащей гидрокарбонат кальция, потребовалось 6,25 мл 0,08 н. раствора HCl.

Задание 3.6.11
Какую массу соды Na_2CO_3 надо добавить к 500 л воды, чтобы устранить ее жесткость, равную 5 $мг\text{-}экв/дм^3$?

Задание 3.6.12
По химическому анализу в речной воде содержится: $Ж_{об}$= 2,44 мг-экв/л; $[Ca^{+2}]$=36,8 мг/л; $[Mg^{2+}]$=7,2 мг/л; $[Na^{+}]$=1,5 мг/л; $[HCO_3^{-}]$=137,3 мг/л; $[SO_4^{2-}]$=4 мг/л; $[Cl^{-}]$=5 мг/л; $[NO_3^{-}]$=1,15 мг/л. Верно ли выполнен анализ качества воды?

Задание 3.6.13
В 5 л бидисиллята растворили 0.4 г NaOH и 265 г Na_2CO_3. Определить значение и характер щелочности раствора.

Задание 3.6.14
Жёсткость исходной воды составляет 4 мг-экв/кг, а C_{Ca} = 60 мг/кг. Определить магниевую жесткость и концентрацию магния в воде.

Задание 3.6.15
Анализ сырой воды следующий (в мг/л): Na^+ = 73.6; Ca^{2+} = 74.7; Mg^{2+} = 19.5; NH_4^+ = 3.8; SO_4^{2-} = 231.8; CL^- = 59.0; NO_2^- = 0.03; NO_3^- = 0.98; жёсткость ($Ж_0$) = 5.33 мг-экв/ л; (щёлочность) $Щ_0$ = 2.24 мг-экв/ л. Проверить точность выполнения анализа.

Задание 3.6.16
Концентрация ионов [Ca^{2+}] в питательной воде равна 0,4 мг/дм^3, ионов [SO_4^{2-}] – 48 мкг/дм^3, а ионов [CO_3^{2-}] – 0,6 мг/дм^3. Какое из соединений будет выпадать в виде твёрдой фазы в подогревателях высокого давления при температуре 250°С?

Задание 3.6.17
Определите коэффициент преобразования водородного электрода и его зависимость от pH при температуре 25 °С при следующих значениях постоянных: универсальная газовая постоянная R = 8,317 Дж/К·моль, число Фарадея F = 96522 Кл/моль

Задание 3.6.18
Двухэлектродная электролитическая ячейка была заполнена раствором с удельной электрической проводимостью $æ_o$=12,1 См/м.Определить постоянную ячейки, если ее сопротивление оказалось равным Rя=13,7 Ом.

Задание 3.6.19
Карбонатная щелочность известкованной воды составляет 0,4 мг-экв/дм^3. Определить избыток в воде $Ca(OH)_2$, если общая щелочность воды равна 0,7 мг-экв/дм^3.

Задание 3.6.20
Жесткость питательной воды промышленной котельной составляет 0,4 мг-экв/дм^3. Определить количество (кг) вносимых в котел накипеобразователей (в пересчете на $CaCO_3$) за 2500 ч его работы, если производительность котла по питательной воде составляет 5 т/ч.

Пример выполнения задания 3.6.16
Для расчёта концентрации всех ионов надо перевести из мг/дм^3 в моль/дм^3, тогда:

$$C_{Ca^{2+}} = 1\cdot 10^{-5} моль/дм^3;$$

$$C_{SO_4^{2-}} = 0.5\cdot 10^{-6} моль/дм^3;$$

$$C_{CO_3^{2-}} = 1\cdot 10^{-5} моль/дм^3.$$

Сравниваем произведение концентраций с произведением растворимости $CaCO_3$ и $CaSO_4$ при соответствующей температуре:

при $t = 250°C$: $C_{Ca^{2+}} \cdot C_{CO_3^{2-}} = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^{-5} \succ ПР_{CaCO_3}$;

при $t = 250°C$: $C_{Ca^{2+}} \cdot C_{SO_4^{2-}} = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} < ПР_{CaSO_4}$;

Таким образом, проведённые расчёты показали, что выделяться в виде твёрдой фазы будет только $CaCO_3$ при температуре 250°C.

Ответ: $CaCO_3$

Блок №4 Автоматизированные системы управления объектами тепловых и атомных электрических станций

Задание экзаменационного билета № 4.1 (10 баллов)

Задание 4.1.1
Виды погрешностей измерения и их нормирования для различных средств измерения (СИ).

Задание 4.1.2
Метрологические характеристики средств измерения (СИ).

Задание 4.1.3
Двух и трехпроводная схема подключения термопреобразователя сопротивления ко вторичному прибору.

Задание 4.1.4
Автоматическое введение поправки на температуру свободных концов термоэлектрического преобразователя (термопары)

Задание 4.1.5
Назначение и принцип действия деформационных манометров.

Задание 4.1.6
Принцип действия манометров с тензопреобразователями

Задание 4.1.7
Измерение расхода по перепаду на сужающем устройстве. Уравнение расхода.

Задание 4.1.8
Теплосчетчики. Состав теплосчетчика, первичные преобразователи.

Задание 4.1.9
Схема измерения уровня в барабане котла с однокамерным измерительным сосудом.

Задание 4.1.10
pH-метры, уравнение Нернста, водородный электрод.

Пример выполнения задания 4.1.1
В зависимости от того, какая погрешность нормируется производителем, погрешность измерения может быть выражена абсолютной, относительной или приведенной погрешностью.

Нормирование пределов основной абсолютной погрешности

$$\Delta = \pm a$$

или

$$\Delta = \pm[a + b(|X| - X_н)]$$

a и b – постоянные
Хн – начальное значение измеряемой величины X

Абсолютная погрешность имеет размерность измеряемой величины.

Нормирование пределов основной абсолютной погрешности

на приборе класс точности указывается латинской буквой A, B, C

например для платинового термопреобразователя сопротивления класса B погрешность будет

$\Delta = \pm(0{,}3 + 0{,}005t)$

Кроме буквенного значения, класс точности, выраженный абсолютной погрешностью, может обозначаться цифрами : так, например, класс точности термоэлектрического преобразователя (ТЭП) может иметь значение **1,2,3.** Класс точности **«1»** выше класса точности «3».

Нормирование пределов основной относительной погрешности

на приборе класс точности указывается числом (в %) в окружности либо дробью c/d

Так для средства измерен[illegible] δ=0,002 класс точности обозначается 0.2

Нормирование пределов основной приведенной погрешности

$$\gamma = \pm a\,\%$$

или

$$\gamma = \frac{\Delta пр}{D} 100\,\%$$

Δпр- абсолютная предельная погрешность
D - диапазон измерений

Размерность в %.

Нормирование пределов основной приведенной погрешности

на приборе класс точности указывается числом (в %) без окружности

например для манометра с диапазоном измерений от 0 до 1,5 МПа и классом точности 1,5 приведенная погрешность будет

$\gamma = \pm 1{,}5\,\%$

В современных микропроцессорных СИ нормируется приведенная погрешность в зависимости мот диапазона измерения, который может быть различный у одного и того же прибора.

γ = ±(a + *) % , здесь «*» - единица последнего разряда, выраженная в % к диапазону измерения. Эта величина чаще всего указывается в технической документации (паспорте прибора).

Например, для одного и того же средства измерения (СИ)Измерителя- регулятора технологического (ИРТ 5922)при работе с термометром сопротивления НСХ 50М пределы основной приведенной погрешности
γ = ±(0,25 + *) %, а для ТС НСХ 100М **γ = ±(0,2 + *) %.**
Для определения основной допускаемой погрешности необходимо для диапазона измерения рассчитать **γ, а затем по формуле:**
Δ= **γ·D/100%** (размерность измеряемой величины).

Задание экзаменационного билета № 4.2 (10 баллов)

Задание 4.2.1
Системы регулирования, работающие по отклонению и по возмущению. Комбинированные системы регулирования. Структура и принцип действия таких систем.

Задание 4.2.2
Типовые линейные алгоритмы регулирования (П, И, ПИ, ПИД). Дифференциальные уравнения и передаточные функции этих алгоритмов. Динамические характеристики этих алгоритмов. Переходные процессы в АСР с этими алгоритмами регулирования.

Задание 4.2.3
Дифференциальные уравнения линейных динамических систем. Преобразование Лапласа. Решение линейных дифференциальных уравнений с помощью преобразования Лапласа. Передаточная функция.

Задание 4.2.4
Принцип суперпозиций. Типовые (тестовые) воздействия, временные динамические характеристики линейных систем (переходная, импульсная, гармоническая). Связь между переходной характеристикой и импульсной характеристикой. Кривая разгона. Связь между кривой разгона и переходной характеристикой.

Задание 4.2.5
Частотные характеристики линейных динамических систем (комплексная частотная характеристика (КЧХ), амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), фазо-частотная характеристика (ФЧХ)). Представление КЧХ в алгебраической форме (в виде суммы вещественной и мнимой частей) и в показательной форме. Связь КЧХ, АЧХ и ФЧХ. Годограф КЧХ.

Задание 4.2.6
Элементарное звено. Интегрирующее и апериодическое (инерционное первого порядка) звенья и их характеристики.

Задание 4.2.7
Элементарное звено. Реальное дифференцирующее звено и звено запаздывания, их характеристики.

Задание 4.2.8
Соединения звеньев: последовательное, параллельное, встречно-параллельное (с обратной связью), смешанное. Характеристики соединений звеньев.

Задание 4.2.9

Устойчивость линейных динамических систем. Необходимое и достаточное условие устойчивости. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица, критерий устойчивости Найквиста.

Задание 4.2.10
Устойчивость и запас устойчивости линейных динамических систем. Показатели запаса устойчивости (степень затухания, корневой показатель колебательности, частотный показатель колебательности), связь между ними для систем второго порядка.

Задание экзаменационного билета № 4.3 (10 баллов)

Задание 4.3.1
При измерении термо-ЭДС термоэлектрического преобразователя градуировки ХА , ***to=0[ºC],*** и цифровым милливольтметром с пределом измерения 0─19,99 мВ получено значение E(t,0)=8.55 мВ. Определить относительную и абсолютную погрешности измерения термо-ЭДС в милливольтах и оС ,если класс точности милливольтметра **γ**= ± (0,25+ *) %

Задание 4.3.2
Определить абсолютную в [м] и относительную в [%] погрешность измерения уровня H=0,8м комплектом, состоящим из первичного преобразователя Метран-100, с приведенной погрешностью γ=0,5% и вторичного прибора ИРТ с приведенной погрешностью γ=0,5%. Диапазон измерения комплекта $Д_н$ = (─1,0÷+1,0) м.

Задание 4.3.3
С какой погрешностью будет измерена разность температур t_1=95°C и t_2=63°C, если температура измеряется двумя термопреобразователями ТСП класса В Δ_t=±(0,3+0,005·t) °C и микропроцессорным вторичным прибором с предельной погрешность γ=±0,1% при диапазоне 0- 250 °C.

Задание 4.3.4
Давление P= 20 КПа надо измерить с погрешностью Δ= ±0,1 кПа. Имеется несколько преобразователей с одинаковым диапазоном измерения P= 0÷25 кПа, но с разными предельными погрешностями: 0,1%; 0,25%; 0,5%; 1%. Выбрать преобразователь давления минимальной стоимости, погрешность которого не превышает заданную. Стоимость преобразователя давления растет по мере снижения погрешности.

Задание 4.3.5
Гидростатический уровнемер с диапазоном измерения D =50**[кПа]** и пределом приведенной погрешности **γ=0,5%** измеряет перепад давления <u>воды</u> dP=40**[кПа]** в резервуаре. Определить высоту уровня жидкости и погрешность ее измерения в***[м]***.

Задание 4.3.6
Определить абсолютную в [ºC] и относительную погрешность измерения температуры ***t=150,*** **[ºC]** комплектом, состоящим из термометра сопротивления, НСХ 100П с предельной погрешностью Δ= 0,15+0,002/t/ [ºC] и микропроцессорного прибора РМТ класса точности *γ*= ±(0,25+*) [%]. Диапазон измерения вторичного прибора Д = ─50-200 [ºC], единица последнего разряда равна 1[ºC].

Задание 4.3.7

Определите доверительный интервал для случайной величины X, если её математическое ожидание m_x=1,5, среднеквадратичное отклонение σ_x=0,05, вероятность P=0,95. Число измерений n=36. Случайная величина распределена по нормальному закону распределения.

Задание 4.3.8
В результате большого числа измерений сопротивлений ТПС (гр.50М) был определен доверительный интервал ($47{,}68 \le m_x \le 48{,}96$), Ом, с доверительной вероятностью 0,997. Определите средне квадратичную погрешность измерения сопротивления в предположении нормального распределения погрешности.

Задание 4.3.9
При измерении pH получены значения измеряемой величины 5,3; 5,4; 5,5; 5,5 pH. При доверительной вероятности 0,90 определить среднее значение давления, среднюю квадратичную погрешность и границы доверительного интервала. При расчете использовать распределение Стьюдента.

Задание 4.3.10
Измеряем массовый расход воды по перепаду на сужающем устройстве. Как изменится значение перепада давления Δ P, если расход среды Gм, уменьшится в 2 раза?

Пример выполнения задания 4.3.10
Зависимость массового расхода от перепада давления на сужающем устройстве (сопло, диафрагма) выражается формулой

$$G_M = C \cdot E \cdot f \cdot k_ш \cdot k_п \cdot \sqrt{2\rho\Delta P}$$

здесь C- коэффициент истечения;
E – коэффициент скорости входа,
f – площадь сужающего устройства,
$k_ш \cdot k_п$ - коэффициент шероховатости и остроты кромки,
ΔP – перепад давления.
Если расход среды Gм при измерении массового расхода уменьшится в 2 раза следовательно:

$G_{м1}/ G_{м2} = 1/2 \Rightarrow \sqrt{\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \Delta P_1 = 4\Delta P_2$

Следовательно, перепад давления при измерении массового расхода должен уменьшиться в 4 раза.
Ответ: перепад должен уменьшиться в 4 раза.

Задание экзаменационного билета № 4.4 (10 баллов)

Задание 4.4.1
Определить абсолютную в [оС] и относительную в [%] погрешность измерения температуры t=380[ºС] комплектом, состоящим из термопреобразователя сопротивления НСХ 50П, класс допуска С (3), предельная погрешность Δ= 0,60+0,008|t| [оС] преобразователя ИПМ с приведенной погрешностью γ=0,5 и вторичного прибора РМТ с приведенной погрешностью γ=0,25 . Диапазон измерения комплекта D=−100÷+400 [ºС].

Задание 4.4.2

Определить границы доверительного интервала погрешности измерения давления с вероятностью 0,95, если при большом числе измерений было получено, что среднее значение давления равно 16.27 кПа, а среднее квадратичное отклонение равно 0,08 кПа. Предполагается нормальный закон распределения погрешности.

Задание 4.4.3

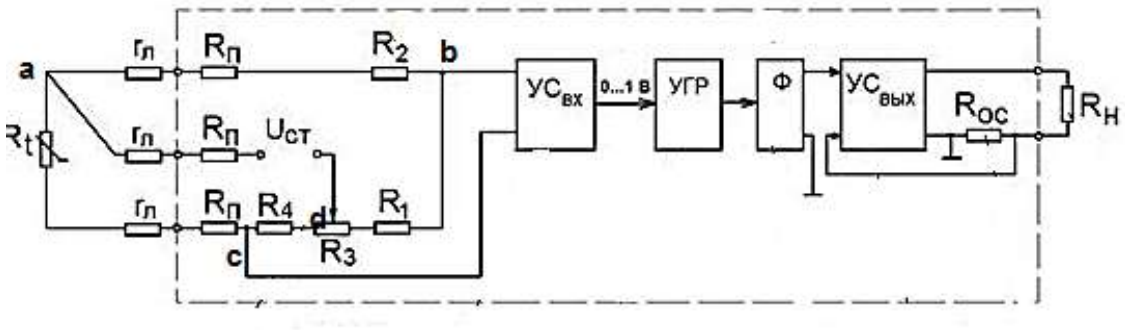
Рассчитать сопротивление электродного преобразователя Rэ с постоянной к=1 [$см^{-1}$] при нормальной температуре, если измеряется электропроводность водного раствора соляной кислоты с концентрацией С=5,0 мг/л.

Задание 4.4.4

Определить предел приведенной и абсолютной погрешности измерения токового сигнала 4-20 мА цифровым миллиамперметром с тремя цифрами после запятой, если предел его погрешности составляет **γ**= ± (0,2+*)%, где * -выраженное в процентах значение единицы последнего разряда.

Задание 4.4.5

Определить величину сопротивления обратной связи $R_{ос}$, измеряемую температуру и выходной сигнал нормирующего преобразователя, работающего в комплекте с термопреобразователем сопротивления, если сигнал с $УС_{вх}$ = 5,0 В, диапазон измеряемых температур 0° - 200 С, выходной сигнал преобразователя изменяется от 0,0 – 5,0 мА.



Задание 4.4.6

Преобразователь давления и разрежения имеет предел измерения Р= -2,0 ÷ +2,0 **[кПа]**, изменение выходного сигнала – I = 4,0÷20,0 мА , предельная приведенную погрешность γ= 0,25%, Определить значение измеряемого давления и относительную погрешность его измерения если выходной сигнал имеет значение I= 8,0 мА .

Задание 4.4.7

Какова температура раствора, если при показаниях pH-метра pHt= 9,2 действительное значение pH раствора составляет pH***д***=9,0 Градуировочная характеристика электродной системы имеет вид: E= ─ (54,2+0,198t)(pH-7). Градуировочное значение температуры 20 ^{o}C.

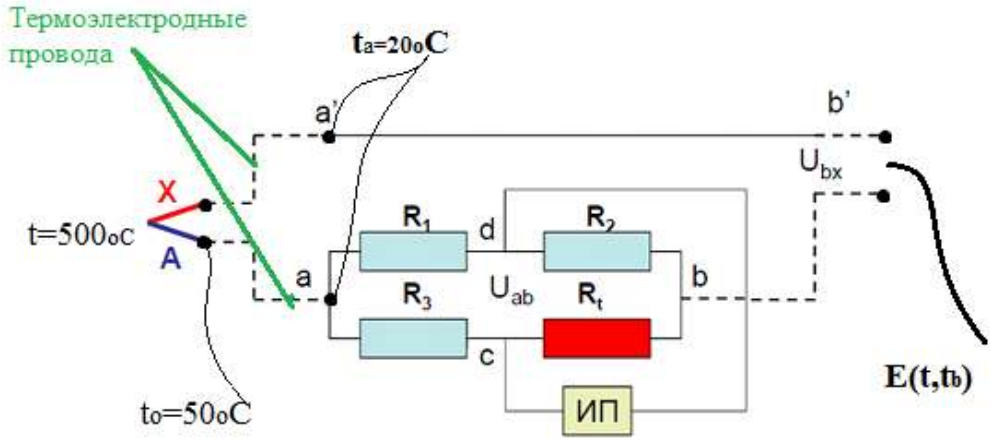
Задание 4.4.8

Рассчитать значение массового расхода воды **G_M [кг/с]**, если перепад давления на диафрагме **ΔP= 130 [кПа]**, относительное сечение последней β=0,3, а диаметр трубопровода – D=410 **[мм]**. Плотность воды составляет 1000 кг/м3, значение CE=0,65.

Задание 4.4.9

При измерении температуры получены значения измеряемой величины, приведенные ниже. При доверительной вероятности 0,95 определить среднее значение температуры, среднюю квадратическую погрешность и границы доверительного интервала. Построить доверительный интервал для **нормального закона распределения** .
t = 588, 584, 582, 588, 586, 589, 587 **[ºC]**

Задание 4.4.10
Чему равно значение **E(t,t_b)** и какую температуру покажет пирометрический милливольтметр, подключенный к точкам **b – b**$^{|}$, если термопара градуировки ХА (хромель-альмель) имеет температуру рабочего спая 500[ºC], температура холодного спая 50[ºC]. Термопара подключена к мосту температурной компенсации термоэлектродными проводами, температура места подключения 20[ºC].



Пример выполнения задания 4.4.10
При измерении температуры комплектом, состоящим из термопары градуировки ХА (хромель-алюмель) соединенной с пирометрическим милливольтметром термоэлектродными проводами и с включенным мостом температурной компенсации (**R_1,R_2,R_3, R_t)** в точках **a'a** ЭДС не зависит от t_0=50[ºC]А определяется температурами рабочего спая 500[ºC], и температурой места подключения 20[ºC].. Т.к. провода Термоэлектродные. Следовательно, **E(a,a')= E(500,20).**

Т.к. в мосту температурной компенсации температура **R_t** также равна 20[ºC], следовательно напряжение Uab= E(20,0). Отсюда получаем уравнение:
E(t,t_b)= E(a,a')+ Uab . Подставляем значения температур и получаем:
E(t,t_b)= E(500,20)+E(20,0)= E(500,0)- E(20,0)+E(20,0)= E(500,0)
E(500,0) по градуировочной характеристике соответствует температуре t=500[ºC]..

Ответ: E(t,t_b) = E(500,0), Температура t=500[ºC]..

Задание экзаменационного билета № 4.5 (10 баллов)

Задание 4.5.1
Дано последовательное соединение звена запаздывания и реального дифференцирующего звена. Время запаздывания равно 5 с, параметры реального дифференцирующего звена $K_d = 5$; $T_d = 10$. Начертите переходную характеристику этой системы звеньев, укажите на графике параметры звеньев. Начертите годограф комплексно-частотной характеристики, графики амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик данной системы звеньев.

Задание 4.5.2
Дано последовательное соединение звена запаздывания и апериодического звена. Время запаздывания равно 5 с, параметры апериодического звена $K_а = 5$; $T_а = 10$. Начертите переходную характеристику этой системы звеньев, укажите на графике параметры звеньев. Начертите годограф комплексно-частотной характеристики, графики амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик данной системы звеньев.

Задание 4.5.3
Дано параллельное соединение пропорционального звена ($K_п = 5$) и интегрирующего звена ($K_И = 0{,}5$). Начертите график переходной характеристики этой системы звеньев, укажите на графике параметры звеньев. Начертите годограф комплексно-частотной характеристики, графики амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик данной системы звеньев.

Задание 4.5.4
Дано параллельное соединение пропорционального звена ($K_п = 2$) и реального дифференцирующего звена ($K_d = 5$; $T_d = 10$). Начертите график переходной характеристики этой системы звеньев, укажите на графике параметры звеньев. Начертите годограф комплексно-частотной характеристики, графики амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик данной системы звеньев.

Задание 4.5.5
Дано встречно-параллельное соединение П и И-звеньев. В прямом канале находится П-звено ($K_п = 2$), в отрицательной обратной связи находится И-звено ($K_И = 0{,}5$). Представьте данное соединение звеньев в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Постройте график переходной характеристики этого звена, амплитудно-частотной характеристики и фазо-частотной характеристики этого звена, годографа комплексной частотной характеристики этого звена.

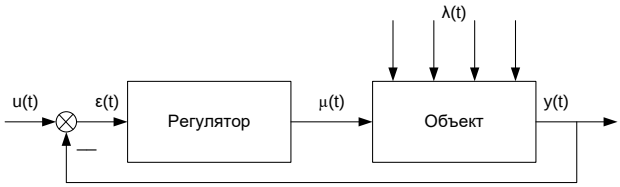
Задание 4.5.6
Дано встречно-параллельное соединение П и И-звеньев. В прямом канале находится И-звено ($K_И = 0{,}5$), в отрицательной обратной связи находится П-звено ($K_п = 2$). Представьте данное соединение звеньев в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Постройте график переходной характеристики этого звена, амплитудно-частотной характеристики и фазо-частотной характеристики этого звена, годографа комплексной частотной характеристики этого звена.

Задание 4.5.7
Дано встречно-параллельное соединение апериодического и пропорционального звеньев. В прямом канале находится А-звено ($K_А = 2$; $T_А = 10$), в отрицательной обратной связи находится П-звено ($K_п = 5$). Представьте данное соединение звеньев в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Постройте график переходной характеристики этого звена, амплитудно-частотной характеристики и фазо-частотной характеристики этого звена, годографа комплексной частотной характеристики этого звена.

Задание 4.5.8
Дано встречно-параллельное соединение апериодического и пропорционального звеньев. В прямом канале находится П-звено ($K_п = 5$), в отрицательной обратной связи находится А-звено ($K_А = 2$; $T_А = 10$). Представьте данное соединение звеньев в виде одного из типовых звеньев, найдите параметры этого звена. Постройте график переходной

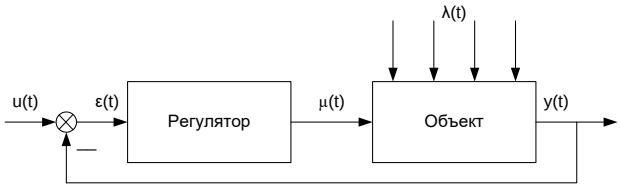
характеристики этого звена, амплитудно-частотной характеристики и фазо-частотной характеристики этого звена, годографа комплексной частотной характеристики этого звена.

Задание 4.5.9
Дана одноконтурная АСР с П-регулятором ($K_{\text{п}} = 2$) и объектом с передаточной функцией $W_{\mu}(s) = \frac{0,5}{(2s+1)(10s+1)}$.



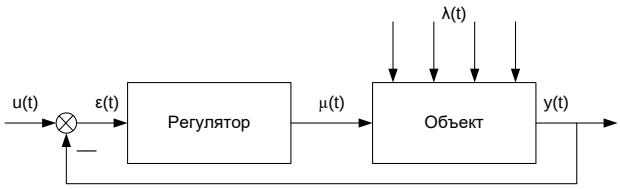
Найдите передаточную функцию разомкнутой АСР. Найдите передаточную функцию замкнутой АСР по каналам $\mu \to y$ и $u \to y$.

Задание 4.5.10
Дана одноконтурная АСР с -регулятором ($K_{\text{И}} = 0,5$) и объектом с передаточной функцией $W_{\mu}(s) = \frac{0,5}{(2s+1)(10s+1)}$.



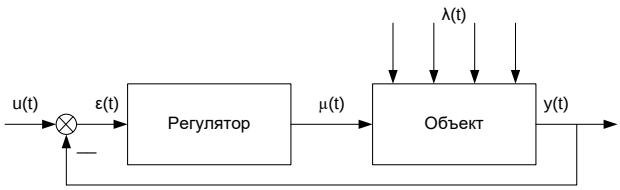
Найдите передаточную функцию разомкнутой АСР. Найдите передаточную функцию замкнутой АСР по каналам $\mu \to y$ и $u \to y$.

Задание экзаменационного билета № 4.6 (10 баллов)
Задание 4.6.1
Дана одноконтурная АСР с П-регулятором ($K_{\text{п}} = 2$) и объектом с передаточной функцией $W_{\mu}(s) = \frac{0,5}{(2s+1)(10s+1)}$.



Найдите комплексную частотную характеристику разомкнутой АСР. Найдите амплитудно-частотную характеристику и фазо-частотную характеристику разомкнутой АСР. Постройте графики АЧХ и ФЧХ и годограф КЧХ.

Задание 4.6.2
Дана одноконтурная АСР с И-регулятором ($K_{\text{И}} = 0,5$) и объектом с передаточной функцией $W_{\mu}(s) = \frac{0,5}{(2s+1)(10s+1)}$.



Найдите комплексную частотную характеристику разомкнутой АСР. Найдите амплитудно-частотную характеристику и фазо-частотную характеристику разомкнутой АСР. Постройте графики АЧХ и ФЧХ и годограф КЧХ.

Задание 4.6.3

Дана одноконтурная АСР с П-регулятором и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(4s+1)^3}$. По критерию Найквиста найдите, при каком коэффициенте передачи П-регулятора эта АСР выйдет на границу устойчивости.

Задание 4.6.4

Дана одноконтурная АСР с И-регулятором и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(4s+1)^2}$. По критерию Найквиста найдите, при каком коэффициенте передачи И-регулятора эта АСР выйдет на границу устойчивости.

Задание 4.6.5

Дана одноконтурная АСР с П-регулятором и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(s+1)(2s+1)(3s+1)}$. По критерию Гурвица найдите, при каком коэффициенте передачи П-регулятора эта АСР выйдет на границу устойчивости.

Задание 4.6.6

Дана одноконтурная АСР с И-регулятором и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(s+1)(2s+1)}$. По критерию Гурвица найдите, при каком коэффициенте передачи И-регулятора эта АСР выйдет на границу устойчивости.

Задание 4.6.7

Дана одноконтурная АСР с П-регулятором ($K_\text{п} = 5$) и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(4s+1)^3}$. Проверьте данную АСР на устойчивость по критерию Найквиста.

Задание 4.6.8

Дана одноконтурная АСР с И-регулятором ($K_\text{И} = 4$) и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(4s+1)^2}$. Проверьте данную АСР на устойчивость по критерию Найквиста.

Задание 4.6.9

Дана одноконтурная АСР с П-регулятором ($K_\text{п} = 5$) и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(s+1)(2s+1)(3s+1)}$. Проверьте данную АСР на устойчивость по критерию Гурвица.

Задание 4.6.10

Дана одноконтурная АСР с П-регулятором ($K_\text{И} = 5$) и объектом с передаточной функцией $W_\mu(s) = \frac{0,5}{(s+1)(2s+1)}$. Проверьте данную АСР на устойчивость по критерию Гурвица.