

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И
ОБРАЗОВАНИЯ
ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра Экономика, управление и техносферная безопасность

Т Е П Л О Т Е Х Н И К А

Расчет цикла паротурбинной установки

Методические указания к расчетно-графической работе
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
35.03.06 Агроинженерия, направленность (профиль)
«Электрооборудование и электротехнологии»
очной и заочной формы обучения

КАРАВАЕВО
Костромская ГСХА
2020

УДК 621.184.64
ББК 31.3
Т 34

Составители: сотрудник кафедры экономики, управления и технологической безопасности Костромской ГСХА к.т.н., доцент *А.Н. Смирнов*.

Рецензент: к.т.н., заведующий кафедрой «Ремонт машин и технология металлов» Курбатов А.Е.

*Рекомендовано к изданию
методической комиссией инженерно-технологического факультета,
протокол №4 от 14 мая 2019 г.*

Т 34 Теплотехника. Расчет цикла паротурбинной установки: методические указания к расчетно-графической работе для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, направленность (профиль) «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной формы обучения / сост. А.Н. Смирнов: Костромская ГСХА, 2020. — 17 с.

В методических указаниях представлен порядок расчета циклов паротурбинных установок, даны варианты задания для выполнения расчетно-графической работы.

Методические указания к расчетно-графической работе предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, направленность (профиль) «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной формы обучения

УДК
621.184.64
ББК 31.3
Т 34

© ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, 2020
© А.Н. Смирнов, составление, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЗАДАНИЕ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ.....	5
2. ЦИКЛ РЕНКИНА НА НАСЫЩЕННОМ ВОДЯНОМ ПАРЕ.....	6
3. ЦИКЛ РЕНКИНА НА ПЕРЕКРЕТОМ ПАРЕ.....	10
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РГР.....	12
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	13
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	14

ВВЕДЕНИЕ

В современной теплоэнергетике широко используются паросиловые установки. Наибольшее распространение получили стационарные паротурбинные установки ПТУ тепловых электрических станций ТЭС, на долю которых приходится более 80% вырабатываемой в стране электроэнергии.

Эти установки работают по циклу, предложенному шотландским инженером и физиком Ренкиным. В качестве рабочего тела в цикле используют водяной пар, который в различных элементах схемы ПТУ изменяет свое состояние вплоть до полной конденсации. В области, близкой к сжижению, свойства паров сильно отличаются от идеального газа, что исключает возможность применения уравнений и законов идеальных газов для паров. В этом случае процессы и циклы рассчитывают при помощи таблиц и диаграмм водяного пара.

Целью данной работы является более глубокое самостоятельное изучение студентами разделов «Водяной пар» и «Циклы паротурбинных установок».

Студенты должны овладеть навыком работы с hs -диаграммой и таблицами свойств водяного пара, научиться определять по ним параметры пара различного состояния, уметь исследовать и анализировать циклы с помощью диаграмм.

1. ЗАДАНИЕ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Для паротурбинной установки, работающей по обратимому (теоретическому) циклу Ренкина, расчетом определить:

- параметры воды и пара в характерных точках цикла;
- количество тепла, подведенного в цикле;
- количество отведенного тепла в цикле;
- работу, произведенную паром в цикле;
- термический КПД цикла;
- удельный расход пара.

Расчет выполнить при заданных параметрах перегретого пара перед турбиной и одинаковом значении давления пара в конденсаторе P_2 для двух случаев:

- 1) ПТУ работает на сухом насыщенном паре с начальным давлением P_1 ;
- 2) ПТУ работает на перегретом паре с начальными параметрами P_1 и t_1 .

Данные для выполнения расчета выбрать из таблицы 1.

Таблица 1 Исходные данные

Номер варианта	Начальные параметры пара		Конечное давление пара P_2 , кПа
	давление P_1 , МПа	температура t_1 , °С	
1	2	3	4
1	8,0	400	5,0
2	9,0	430	4,0
3	10,0	450	4,2
4	11,0	470	4,5
5	12,0	500	3,5
6	13,0	520	6,0
7	12,0	540	5,5
8	13,0	560	4,5
9	9,0	480	3,0
10	9,5	520	3,5
11	10,0	500	4,0
12	11,0	550	4,5

1	2	3	4
13	12,0	490	5,0
14	13,0	530	5,5
15	15,0	540	4,0
16	16,0	530	5,0
17	11,0	550	3,5
18	13,0	540	5,0
19	14,0	700	2,0
20	15,0	600	4,0
21	16,0	750	3,0
22	17,0	800	5,0

Примечание. Номер варианта индивидуального задания определяется по согласованию с преподавателем.

2. ЦИКЛ РЕНКИНА НА НАСЫЩЕННОМ ВОДЯНОМ ПАРЕ

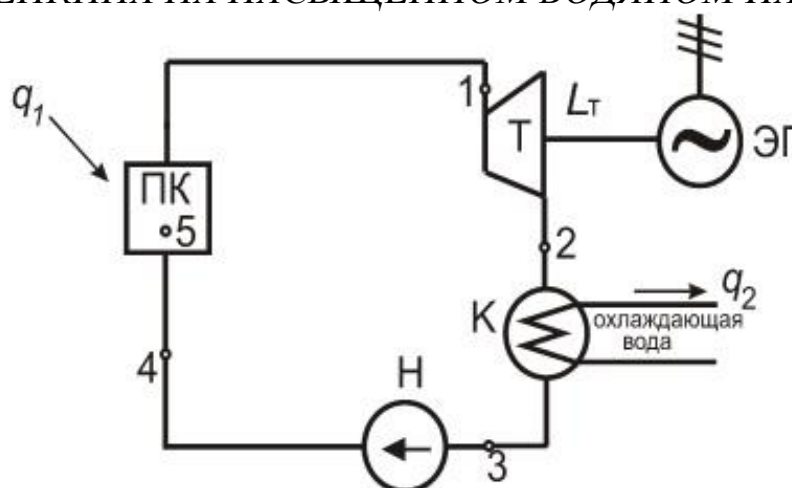


Рисунок 1 -Схема паротурбинной установки:
ПК – паровой котёл (парогенератор); *T* – паровая турбина;
ЭГ – электрогенератор; *K* – конденсатор; *H* – питательный насос

В парогенераторе ПГ к рабочему телу (воде) подводится теплота, выделяемая при сжигании топлива q_1 . При этом образуется сухой насыщенный пар, который поступает в паровую турбину ПТ, где совершает полезную работу. В ПТ внутренняя энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора турбины, передается по валу в элект-

трогенератор ЭГ и там, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию. Влажный пар после турбины направляется в конденсатор К, где в процессе его конденсации отводится выделяемая теплота q_1 и передается охлаждающей воде, циркулирующей по трубкам конденсатора.

Образовавшийся конденсат с помощью насоса ПН направляется в парогенератор и цикл повторяется.

Цикл Ренкина на насыщенном водяном паре в Pv -, Ts - и hs - диаграммах представлены на рис. 2-4.

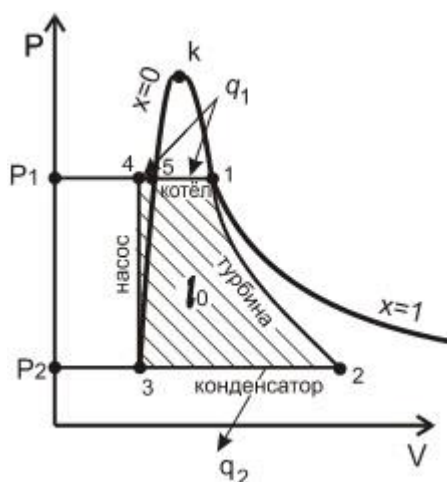


Рисунок 2

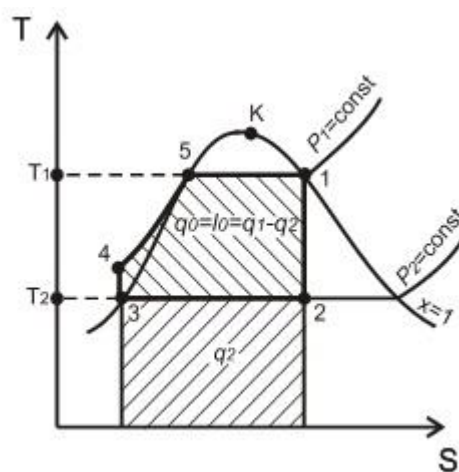


Рисунок 3

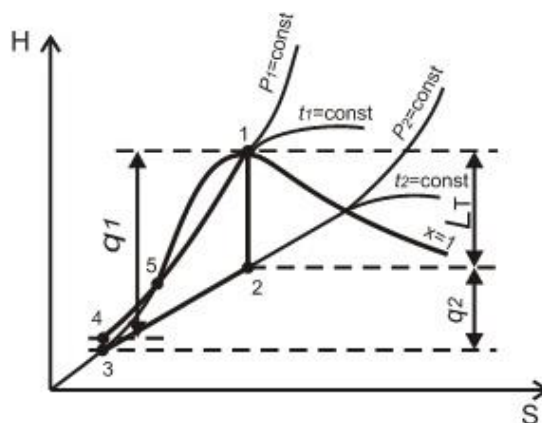


Рисунок 4

- 1 – 2 – адиабатное расширение пара в турбине;
- 2 – 3 – изобарно – изотермический процесс конденсации влажного пара в конденсаторе с отводом теплоты q_2 ;

- 3 – 4 – адиабатное сжатие воды в насосе;
- 4 – 5 – подогрев воды до температуры насыщения;
- 5 – 1 – превращение воды в пар в парогенераторе.

Определение параметров в характерных точках цикла

Расчетное задание выполняется по исходным данным своего варианта (см. таблицу 1) с применением hs -диаграммы, таблиц водяного пара [1] или приложений 1,2.

Вначале рассчитывается цикл ПТУ при работе на сухом насыщенном паре с начальным давлением P_1 , степенью сухости $x_1=1$ и давлением пара после турбины P_2 .

Параметры точки 1 определяется из таблицы водяного пара в состоянии насыщения [1] или из приложения 1 при соответствующем давлении P_1 :

$$h_1 = h''(P_1);$$

$$s_1 = s''(P_1);$$

$$v_1 = v''(P_1).$$

Параметры влажного насыщенного пара в точке 2 находятся расчетным путем. Для этого сначала необходимо рассчитать значение степени сухости пара в точке 2:

$$x_2 = \frac{s_2 - s'}{s'' - s'},$$

где $s_2 = s_1$ — так как 1-2 — адиабатный процесс;
 s' и s'' — энтропия конденсата и сухого насыщенного пара при давлении P_2 , выбираются из приложения 1 или таблиц [1].

Удельный объем v_x , энтропия s_x и энтальпия h_x влажного насыщенного пара рассчитываются по уравнениям:

$$v_x = xv'' + (1-x)v' \cong xv''; \tag{1}$$

$$s_x = s' + x(s'' - s'); \tag{2}$$

$$h_x = h' + x(h'' - h'). \tag{3}$$

Для этих расчетов предварительно выписываются значения энтальпии h' , h'' и удельного объема v'' по давлению P_2 из приложения 1 или таблиц [3]. Полученные данные заносятся в таблицу 2 и используются в расчете.

Точка 3 находится в состоянии кипящей жидкости. Процесс 2-3 изобарно-изотермический $P_3 = P_2, t_3 = t_2$, параметры точки 3 определяются из таблицы водяного пара в состоянии насыщения приложение 1:

$$h_3 = h'(P_2);$$

$$S_3 = S'(P_2);$$

$$v_3 = v'(P_2).$$

Точка 4 находится в состоянии жидкости не кипящей. Процесс 3-4 адиабатное сжатие воды в насосе, с повышением давление P_2 до P_1 , параметры энтальпии, энтропии и удельного объема не изменяются:

$$h_4 = h_3;$$

$$S_4 = S_3;$$

$$v_4 = v_3.$$

Точка 5 находится в состоянии кипящей жидкости. Процесс 5-1 изобарно-изотермический $P_5 = P_1, t_5 = t_1$, параметры точки 5 определяются из таблицы водяного пара в состоянии насыщения приложение 1:

$$h_5 = h'(P_1);$$

$$S_5 = S'(P_1);$$

$$v_5 = v'(P_1).$$

Параметры характерных точек сводим в таблицу 2

Таблица 2 Параметры в характерных точках цикла ПТУ при работе на сухом насыщенном паре

Точки цикла	P , МПа	t , °С	h , кДж/кг	ϑ , м ³ /кг	s , кДж/кг·К	x
1						
2						
3						
4						
5						

Теплоту q_1 , кДж/кг, подведенную можно определить по изменению энтальпии:

$$q_1 = h_1 - h_3, \quad (4)$$

где h_1 — энтальпия острого пара перед турбиной, кДж/кг;

h_3 — энтальпия воды, поступающей в парогенератор, кДж/кг.

Отвод теплоты в конденсаторе q_2 , кДж/кг, будет равно:

$$q_2 = h_2 - h_3, \quad (5)$$

где h_2 — энтальпия пара, отработавшего в турбине, кДж/кг;

h_3 — энтальпия воды на выходе из конденсатора, кДж/кг.

Работа, совершенная паром в турбине l_T , кДж/кг, в адиабатном процессе расширения определяется по формуле:

$$l_T = h_1 - h_2 \quad . \quad (6)$$

Пренебрегая работой, затрачиваемой на сжатие в насосе, можно считать, что полученная в цикле работа равна работе, совершенной паром в турбине:

$$l_0 = l_T \quad . \quad (7)$$

Термический КПД цикла Ренкина η_t , как и любого другого прямого цикла, определяется по формуле:

$$\eta_t = \frac{l_0}{q_1} \quad . \quad (8)$$

Теоретический удельный расход пара d_0 , кг/кВт·ч, необходимый для выработки одного кВт·ч электроэнергии:

$$d_0 = \frac{3600}{l_0} \quad . \quad (9)$$

3. ЦИКЛ РЕНКИНА НА ПЕРЕГРЕТОМ ПАРЕ

На станциях, сжигающих органические топлива, в целях увеличения термического КПД цикла, как правило, используют цикл Ренкина на перегретом паре. В таком цикле полученный в парогенераторе сухой пар подвергают перегреву при $P_1 = \text{const}$ до температуры t_1 , которая выше температуры насыщения притом же давлении. Перегрев пара осуществляется продуктами сгорания топлива в пароперегревателе, расположенном за топкой котла. В этом случае средняя температура подвода тепла увеличивается по сравнению с температурой подвода тепла в цикле без перегрева и, следовательно, термический КПД цикла возрастает. Цикл Ренкина с перегревом пара является основным циклом ПТУ, применяемых в современной теплоэнергетике.

В пароперегревателе парового котла сухой насыщенный пар перегревают по линии 6 – 1 (рис. 5, 6 и 7) при $p_1 = \text{const}$. В результате полезная работа, совершаемая в паровой турбине за 1 цикл, увеличивается, т.е. увеличивается термический КПД цикла.

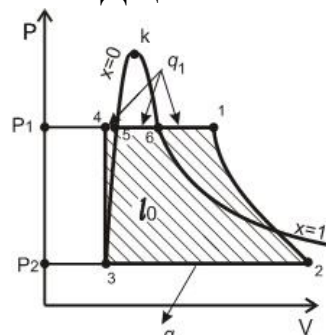


Рисунок 5

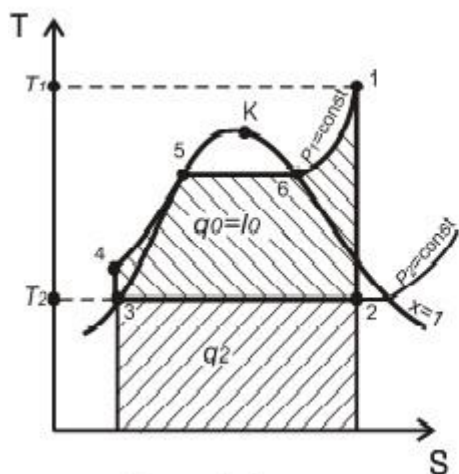


Рисунок 6

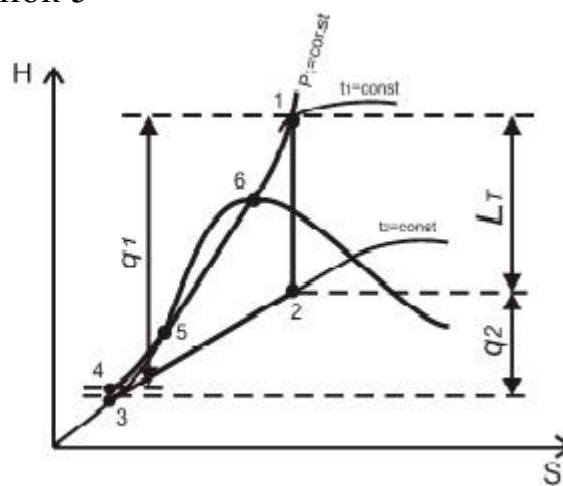


Рисунок 7

Вторым этапом выполнения задания является расчет цикла ПТУ при работе на перегретом паре с начальными параметрами P_1 и t_1 . При расчете цикла Ренкина на перегретом паре точка 1 находится в области перегретого пара параметры находим по давлению P_1 и t_1 используя приложение 2. Параметры остальных характерных точек цикла и расчет определяются и проводятся аналогично первому случаю. По результатам определения параметров в характерных точках составляется таблица, аналогичная таблице 2, но для данного цикла. Расчет количества подведенной и отведенной теплоты, работы, термического КПД, теоретический удельный расходов пара на выработку электроэнергии выполняются по формулам (4 – 9).

Результаты расчетов сводим в таблицу 3, далее необходимо проанализировать полученные результаты и сделать вывод.

Таблица 3 Результаты расчетов

Параметры цикла	Цикл паротурбинной установки	
	на сухом насыщенном паре	на перегретом паре
Количество подведенной теплоты q_1 , кДж/кг		
Количество отведённой теплоты q_2 , кДж/кг		
Полученная работа в цикле l_0 , кДж/кг		
Теоретический удельный расход пара d_0 , кг/кВт·ч		
Термический КПД цикла η_t		

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РГР

1. Дайте понятие температуры насыщения?
2. Какой пар называют насыщенным?
3. Понятие о влажном, сухом и перегретом паре.
4. Что называется степенью сухости пара и степенью влажности?
5. Изображение процессов парообразования в Pv -, Ts -диаграммах.
6. Нахождение параметров состояния влажного насыщенного пара (аналитически и по hs -диаграмме).
7. Нахождение параметров состояния сухого насыщенного и перегретого пара по таблицам водяного пара и по hs -диаграмме.
8. Изображение термодинамических процессов в Pv -, Ts -, hs -диаграммах.
9. Нахождение количества подведенной или отведенной теплоты в процессах с водяным паром.
10. Что называется теплотой парообразования и как ее можно определить аналитически и графически в Ts - и hs -диаграммах?
11. Как графически можно изобразить работу пара в цикле в Pv -, Ts -, hs -диаграммах.

12. Проанализируйте с помощью hs -диаграммы, какой из рассмотренных циклов имеет преимущества.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цулерман Н.М. Техническая термодинамика [Текст] : учеб.пособие/ Н.М. Цулерман 2-е изд., доп. СПб.: Издательство «Лань», 2018.- 352с.
2. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин. – 4-е изд., стер. – М.: Аз-book, 2008. – 469 с.
3. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара [Текст]: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица III Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения

P, МПа	t, °C	ν'	ν''	h'	h''	r	s'	s''
		м ³ /кг		кДж/кг			кДж/(кг·К)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,001	6,98	0,0010001	129,208	29,33	2513,8	2484,5	0,1060	8,9756
0,002	17,51	0,0010012	67,006	73,45	2533,2	2459,8	0,2606	8,7236
0,0025	21,09	0,0010020	54,256	88,44	2539,7	2451,3	0,3119	8,6431
0,003	24,098	0,0010027	45,668	101,00	2545,2	2444,2	0,3543	8,5776
0,0035	26,69	0,0010033	39,480	111,84	2549,9	2438,1	0,3907	8,5224
0,004	28,98	0,0010040	34,803	121,41	2554,1	2432,7	0,4224	8,4747
0,0045	31,03	0,0010046	31,142	129,98	2557,8	2427,8	0,4507	8,4327
0,005	32,90	0,0010052	28,196	137,77	2561,2	2423,4	0,4762	8,3952
0,0055	34,60	0,0010058	25,772	144,91	2564,2	2419,3	0,4995	8,3613
0,006	36,18	0,0010064	23,742	151,50	2567,1	2415,6	0,5209	8,3305
0,007	39,02	0,0010074	20,532	163,38	2572,2	2408,8	0,5591	8,2760
0,010	45,83	0,0010102	14,676	191,84	2584,4	2392,6	0,6493	8,1505
0,020	60,09	0,0010172	7,6515	251,46	2609,6	2358,1	0,8321	7,9092
0,030	69,12	0,0010233	5,2308	289,31	2625,3	2336,0	0,9441	7,7695
0,040	75,89	0,0010265	3,9949	317,65	2636,8	2319,2	1,0261	7,6711
0,050	81,35	0,0010301	3,2415	340,57	2646,0	2305,4	1,0912	7,5951
0,075	91,78	0,0010375	2,2179	384,45	2663,2	2278,8	1,2132	7,4577
0,10	99,63	0,0010434	1,6946	417,51	2675,7	2258,2	1,3027	7,3608
0,12	104,81	0,0010476	1,4289	439,36	2683,8	2244,4	1,3609	7,2996
0,14	109,32	0,0010513	1,2370	458,42	2690,8	2232,4	1,4109	7,2480
0,16	113,32	0,0010547	1,0917	457,35	2696,8	2221,4	1,4550	7,2032
0,18	116,93	0,0010579	0,97775	490,70	2702,1	2211,4	1,4944	7,1638
0,20	120,32	0,0010608	0,88592	504,7	2706,9	2202,2	1,5301	7,1286
0,25	127,43	0,0010675	0,71881	535,4	2717,2	2181,8	1,6072	7,0540
0,30	113,54	0,0010735	0,60586	561,4	2725,5	2164,1	1,6717	6,9930
0,35	138,88	0,0010789	0,52425	584,3	2732,5	2148,2	1,7373	6,9414
0,40	143,62	0,0010839	0,46242	604,7	2738,5	2133,8	1,7764	6,8966
0,5	151,85	0,0010928	0,37481	640,1	2748,4	2108,4	1,8604	6,8215
0,6	158,84	0,0011009	0,31556	670,4	2756,4	2086,0	1,9308	6,7598
0,7	164,96	0,0011082	0,27274	697,1	2762,9	2065,8	1,9918	6,7074
0,8	170,42	0,0011150	0,24030	720,9	2768,4	2047,5	2,0457	6,6618
0,9	175,36	0,0011213	0,21484	742,6	2773,0	2030,4	2,0941	6,6212
1,0	179,88	0,0011274	0,19430	762,6	2777,0	2014,4	2,1382	6,5857
1,5	198,28	0,0011538	0,13165	844,7	2790,4	1945,7	2,3144	6,4418
2,0	212,37	0,0011766	0,09953	908,6	2797,4	1888,8	2,4468	6,3373
3,0	233,84	0,0012163	0,06662	1008,4	2801,9	1793,5	2,6455	6,1832
4,0	250,33	0,0012521	0,04974	1087,5	2799,4	1711,9	2,7967	6,0670
5,0	263,92	0,0012858	0,03941	1154,6	2792,8	1638,2	2,9209	5,9712
6,0	275,66	0,0013187	0,03241	1213,9	2783,3	1569,4	3,0277	5,8878
7,0	285,80	0,0013514	0,02734	1267,7	2771,4	1503,7	3,1255	5,8126
8,0	294,98	0,0013843	0,02349	1317,5	2757,5	1440,0	3,2083	5,7430
8,5	299,24	0,0014010	0,02189	1341,2	2749,9	1408,7	3,2487	5,7098

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9,0	303,31	0,0014179	0,02046	1364,2	2741,2	1377,6	3,2875	5,6773
9,5	307,22	0,0014351	0,01917	1386,7	2733,4	1346,7	3,3251	5,6456
10,0	310,96	0,0014526	0,01800	1408,6	2724,4	1315,8	3,3616	5,6143
10,5	314,57	0,0014704	0,01694	1430,1	2715,2	1285,1	3,3970	5,5835
11,0	318,04	0,0014887	0,01597	1451,2	2705,4	1254,2	3,4316	5,5531
11,5	321,39	0,0015074	0,01507	1472,1	2695,3	1223,2	3,4654	5,5229
12,0	324,64	0,0015267	0,01425	1492,6	2684,8	1192,2	3,4986	5,4930
12,5	327,77	0,0015465	0,01348	1512,9	2673,8	1160,9	3,5312	5,4631
13,0	330,81	0,0015670	0,01277	1533,0	2662,4	1129,4	3,5633	5,4333
13,5	333,76	0,0015883	0,01211	1552,9	2650,6	1097,7	3,5949	5,4035
14,0	336,63	0,0016104	0,01149	1572,8	2638,3	1065,5	3,6262	5,3737
14,5	339,41	0,0016335	0,01091	1592,6	2625,5	1032,9	3,6573	5,3435
15,0	342,12	0,0016580	0,01035	1612,2	2611,6	999,4	3,6877	5,3122
15,5	344,75	0,0016834	0,009983	1631,8	2597,5	965,7	3,7181	5,2812
16,0	347,32	0,0017101	0,009330	1651,5	2582,7	931,2	3,7486	5,2496
17,0	352,26	0,0017690	0,008401	1691,6	2550,8	859,2	3,8103	5,1841
18,0	356,96	0,0018380	0,007534	1733,4	2514,4	781,0	3,8739	5,1135
19,0	361,44	0,0019231	0,006700	1778,2	2470,1	691,9	3,9417	5,0321
20,0	365,71	0,0020380	0,005837	1828,8	2413,8	585,0	4,0181	4,9338
21,0	369,79	0,002218	0,005006	1892,2	2340,2	448,0	4,1137	4,8106
22,0	373,68	0,002675	0,003757	2007,7	2192,5	184,8	4,2891	4,5748

Таблица П2 Термодинамические свойства воды и перегретого водяного пара

t, °C	P = 8,0 МПа			P = 9,0 МПа			P = 10,0 МПа		
	t _н = 294,98 °C			t _н = 303,31 °C			t _н = 310,96 °C		
	ν , $\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	h, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	s, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	ν , $\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	h, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	s, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	ν , $\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	h, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	s, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0009962	8,1	0,0004	0,0009958	9,1	0,0005	0,0009953	10,1	0,0005
100	0,0010396	425,0	1,3007	0,0010391	425,8	1,3000	0,0010386	426,5	1,2992
200	0,0011500	855,1	2,3207	0,0011490	855,5	2,3191	0,0011480	855,9	2,3176
300	0,02425	2785,4	5,7918	0,0014022	1344,9	3,2539	0,0013978	1343,7	3,2429
400	0,03431	3140,1	6,3670	0,02993	3119,7	6,2891	0,02641	3098,5	6,2158
410	0,03511	3167,7	6,4076	0,03067	3148,5	6,3316	0,02711	3128,7	6,2605
420	0,03589	3194,7	6,4469	0,03139	3176,7	6,3725	0,02779	3158,1	6,3031
430	0,03665	3221,2	6,4849	0,03210	3204,2	6,4120	0,02845	3186,7	6,3442
440	0,03741	3247,3	6,5218	0,03280	3231,2	6,4502	0,02910	3214,8	6,3837
450	0,03815	3273,1	6,5577	0,03348	3257,9	6,4872	0,02974	3242,2	6,4220
460	0,03888	3298,6	6,5928	0,03415	3284,1	6,5233	0,03036	3269,3	6,4591
470	0,03960	3323,9	6,6270	0,03481	3310,1	6,5584	0,03098	3296,0	6,4953
480	0,04031	3340,0	6,6605	0,03546	3335,7	6,5927	0,03158	3322,3	6,5305
490	0,04102	3373,8	6,6933	0,03611	3361,2	6,6263	0,03218	3348,3	6,5648
500	0,04172	3398,5	6,7254	0,03675	3386,4	6,6592	0,03277	3374,1	6,5984
510	0,04241	3423,1	6,7570	0,03738	3411,5	6,6914	0,03335	3399,7	6,6313
520	0,04309	3447,6	6,7881	0,03800	3436,4	6,7230	0,03392	3425,1	6,6635

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
530	0,04377	3471,9	6,8186	0,03862	3461,2	6,7541	0,03449	3450,3	6,6951
540	0,04445	3496,2	6,8486	0,03923	3485,9	6,7846	0,03505	3475,4	6,7262
550	0,04512	3520,4	6,8783	0,03984	3510,5	6,8147	0,03561	3500,4	6,7568
560	0,04578	3544,6	6,9075	0,04044	3535,0	6,8147	0,03616	3525,4	6,7869
570	0,04645	3568,7	6,9363	0,04104	3559,5	6,8444	0,03671	3550,2	6,8165
580	0,04710	3592,8	6,9646	0,04163	3583,9	6,8736	0,03726	3574,9	6,8456
590	0,04776	3616,8	6,9926	0,04222	3608,2	6,9023	0,03780	3599,5	6,8743
600	0,04841	3640,7	7,0201	0,04281	3632,4	6,9585	0,03833	3624,0	6,9025

$t, ^\circ\text{C}$	$P = 11,0 \text{ МПа}$			$P = 12,0 \text{ МПа}$			$P = 13,0 \text{ МПа}$		
	$t_H = 318,04 \text{ }^\circ\text{C}$			$t_H = 324,64 \text{ }^\circ\text{C}$			$t_H = 330,81 \text{ }^\circ\text{C}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0009948	11,1	0,0006	0,0009943	12,1	0,0006	0,0009938	13,1	0,0006
100	0,0010381	427,2	1,2984	0,0010376	428,01	1,2977	0,0010371	428,8	1,2969
200	0,0011470	856,4	2,3161	0,0011461	856,8	2,3146	0,0011451	857,2	2,3131
300	0,001394	1342,6	3,2450	0,0013895	1341,5	3,2407	0,0013855	1340,5	3,2365
400	0,02351	3076,4	6,1460	0,02108	3053,3	6,0787	0,01901	3029,3	6,0132
410	0,02418	3108,2	6,1929	0,02173	3086,9	6,1282	0,01964	3064,8	6,0655
420	0,02483	3138,9	6,2376	0,02235	3119,1	6,1750	0,02025	3098,6	6,1147
430	0,02546	3168,8	6,2803	0,02296	3150,2	6,2196	0,02083	3131,1	6,1613
440	0,02607	3197,8	6,3214	0,02354	3180,4	6,2622	0,02139	3162,6	6,2057
450	0,02667	3226,2	6,3609	0,02411	3209,9	6,3032	0,02194	3193,1	6,2482
460	0,02726	3254,1	6,3992	0,02467	3238,6	6,3427	0,02247	3222,8	6,2890
470	0,02784	3281,6	6,4364	0,02521	3266,9	6,3810	0,02299	3251,9	6,3284
480	0,02840	3308,6	6,4725	0,02575	3294,6	6,4181	0,02350	3280,4	6,3666
490	0,02896	3335,3	6,5077	0,02627	3322,0	6,4542	0,02400	3308,5	6,4036
500	0,02951	3361,6	6,5420	0,02679	3349,0	6,4893	0,02448	3336,1	6,4395
510	0,03005	3387,8	6,5756	0,02730	3375,6	6,5236	0,02496	3363,4	6,4746
520	0,03058	3413,7	6,6085	0,02780	3402,1	6,5571	0,02544	3390,3	6,5088
530	0,03111	3439,4	6,6407	0,02829	3428,2	6,5899	0,02590	3417,0	6,5422
540	0,03163	3464,9	6,6723	0,02878	3454,2	6,6220	0,02637	3443,4	6,5749
550	0,03215	3490,3	6,7034	0,02926	3480,0	6,6536	0,02682	3469,7	6,6071
560	0,03266	3515,6	6,7340	0,02974	3505,7	6,6847	0,02727	3495,8	6,6386
570	0,03317	3540,8	6,7640	0,03022	3531,3	6,7152	0,02772	3521,7	6,6695
580	0,03367	3565,8	6,7935	0,03068	3556,7	6,7451	0,02816	3547,5	6,6999
590	0,03417	3590,7	6,8225	0,03115	3581,9	6,7745	0,02859	3573,0	6,7297
600	0,03467	3615,5	6,8511	0,03161	3607,0	6,8034	0,02903	3598,4	6,7590

$t, ^\circ\text{C}$	$P = 14,0 \text{ МПа}$			$P = 15,0 \text{ МПа}$			$P = 16,0 \text{ МПа}$		
	$t_H = 336,63 \text{ }^\circ\text{C}$			$t_H = 342,12 \text{ }^\circ\text{C}$			$t_H = 347,32 \text{ }^\circ\text{C}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0009933	14,1	0,0007	0,0009928	15,1	0,0007	0,0009924	16,1	0,0008
100	0,0010366	429,5	1,2961	0,0010361	430,3	1,2954	0,0010356	431,0	1,2946
200	0,0011442	857,7	2,3117	0,0011432	858,1	2,3102	0,0011423	858,6	2,3087
300	0,0013816	1339,5	2,2324	0,0013779	1338,6	3,2284	0,0013742	1337,7	3,2245
400	0,01722	3004,0	5,9488	0,01566	2977,6	5,8851	0,01427	2949,7	5,8215
410	0,01784	3041,7	6,0044	0,01627	3017,7	5,9442	0,01488	2992,5	5,8847

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
420	0,01844	3077,4	6,0562	0,01685	3055,3	5,9990	0,01546	3032,5	5,9427
430	0,01900	3111,4	6,1050	0,01741	3091,1	6,0502	0,01600	3070,5	5,9965
440	0,01954	3144,2	6,1512	0,01794	3125,2	6,0984	0,01652	3105,8	6,0470
450	0,02007	3175,8	6,1953	0,01845	3158,2	6,1443	0,01702	3140,0	6,0947
460	0,02058	3206,6	6,2376	0,01894	3190,0	6,1880	0,01750	3173,0	6,1400
470	0,02108	3236,6	6,2782	0,01942	3221,0	6,2300	0,01797	3205,0	6,1834
480	0,02157	3265,9	6,3174	0,01989	3251,2	6,2704	0,01842	3236,2	6,2250
490	0,02204	3294,7	6,3554	0,02035	3280,7	6,3093	0,01886	3266,5	6,2650
500	0,02251	3323,0	6,3922	0,02079	3309,7	6,3471	0,01929	3296,3	6,3038
510	0,02297	3350,9	6,4281	0,02123	3338,3	6,3838	0,01971	3325,4	6,3413
520	0,02342	3378,4	6,4630	0,02166	3366,4	6,4194	0,02013	3354,2	6,3777
530	0,02386	3405,6	6,4971	0,02208	3394,1	6,4542	0,02053	3382,4	6,4131
540	0,02430	3432,5	6,5304	0,02250	3421,5	6,4881	0,02093	3410,4	6,4477
550	0,02473	3459,2	6,5631	0,02291	3448,7	6,5214	0,02132	3438,0	6,4816
560	0,02515	3485,8	6,5951	0,02332	3475,6	6,5539	0,02171	3465,4	6,5146
570	0,02557	3512,1	6,6265	0,02372	3502,3	6,5858	0,02209	3492,5	6,5470
580	0,02599	3538,2	6,6573	0,02411	3528,8	6,6170	0,02247	3519,4	6,5787
590	0,02640	3564,1	6,6875	0,02450	3555,1	6,6476	0,02284	3546,0	6,6097
600	0,02681	3589,8	6,7172	0,02489	3581,2	6,6776	0,02321	3572,4	6,6401

Методические указания

Теплотехника. Расчет цикла паротурбинной установки: методические указания к расчетно-графической работе для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, направленность (профиль) «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной формы обучения / сост. А.Н. Смирнов: Костромская ГСХА, 2020. — 17 с.

Методические указания выпускаются в авторской редакции