

Расчет эффективности цикла Ренкина

Пз1

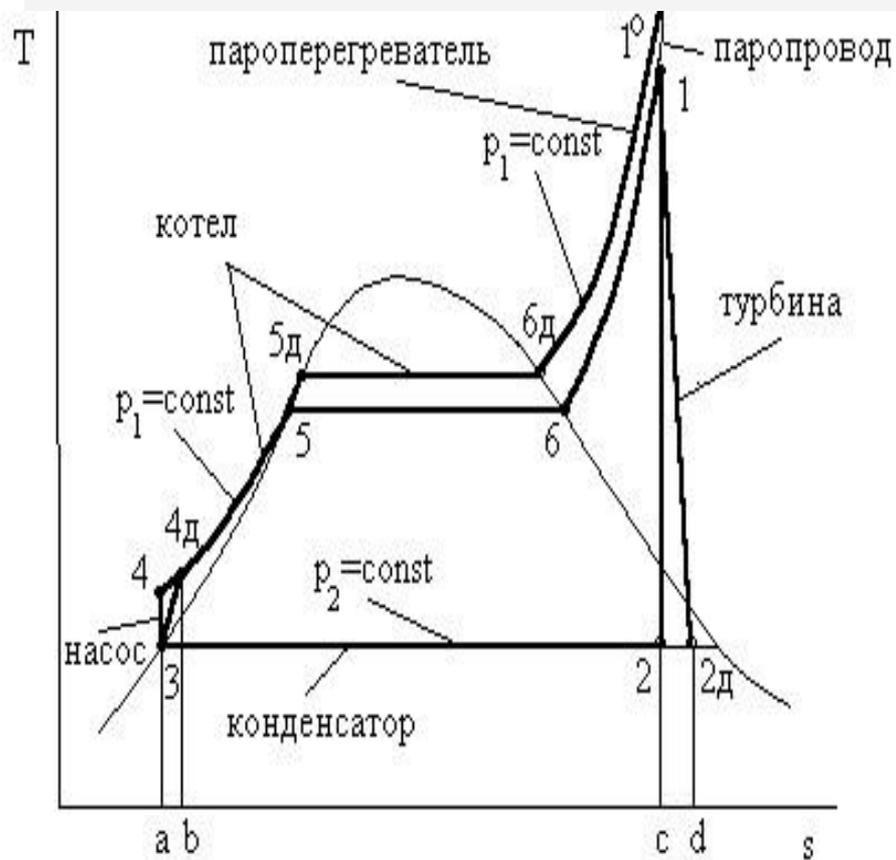
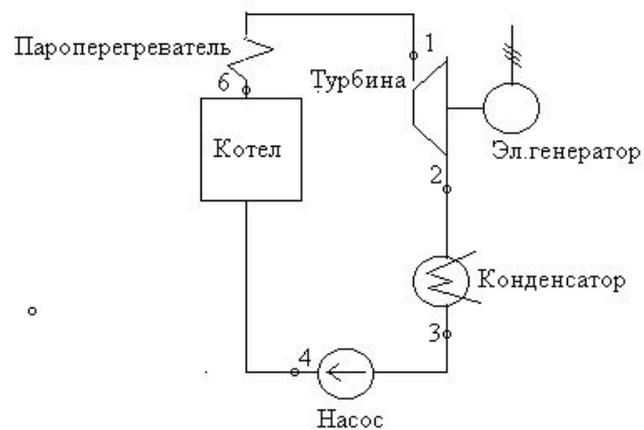
Цель - определение эффективности теплосиловой паротурбинной установки, работающей по циклу Ренкина в целом, а также оценка величины необратимых потерь в каждом из основных ее элементов

Задание

- Рассчитать эффективность цикла Ренкина (термический КПД). Составить баланс теплосиловой паротурбинной установки, работающей по циклу Ренкина.
- Исходные данные для расчета принять в соответствии с таблицей 1
- Температуру на выходе из насоса принять равной

Таблица 1

№ вар	Начальные параметры пара		Давление в конденсаторе	Коэффициенты полезного действия					
	P_1 МПа	t° С		P_2 кПа	$\eta_{ка}$	$\eta_{пп}$	η_r	η_m	η_{oi}^T
1	16	500	3,5	0,92	0,96	0,98	0,97	0,85	0,9
2	15	540	4	0,9	0,97	0,96	0,97	0,86	0,9
3	17	500	3	0,91	0,98	0,97	0,96	0,86	0,91
4	18	520	4,2	0,89	0,96	0,98	0,97	0,87	0,89
5	13	560	3,8	0,9	0,97	0,98	0,98	0,84	0,9
6	14	570	3,2	0,91	0,98	0,96	0,98	0,86	0,91
7	19	500	5	0,88	0,98	0,97	0,96	0,86	0,88
8	20	490	3,8	0,99	0,98	0,98	0,97	0,87	0,99
9	21	510	4,6	0,91	0,96	0,98	0,98	0,84	0,91
10	22	530	4,4	0,92	0,96	0,96	0,98	0,84	0,9
11	23	540	4,8	0,89	0,97	0,97	0,96	0,84	0,91
12	24	560	3,6	0,9	0,98	0,97	0,96	0,85	0,9



АНАЛИЗ ЦИКЛА РЕНКИНА С УЧЕТОМ НЕОБРАТИМЫХ ПОТЕРЬ

Согласно определению, эффективный к.п.д. установки равен [1]:

$$\eta_e^{\text{уст}} = \eta_{КА} \eta_{ПП} \eta_{Г} \eta_{М} \eta_{0i}^{\text{II}} \eta_t,$$

где $\eta_{КА} = \frac{i_1^0 - i_{4\partial}}{q'}$ - к.п.д. котла, $q' = \frac{i_1 - i_{4\partial}}{\eta_{ПП} \eta_{КА}}$ - количество теплоты,

которое должно быть получено при сжигании топлива в котле, чтобы энтальпия рабочего тела на выходе из котла составила i_1^0 ;

$\eta_{ПП} = \frac{i_1 - i_{4\partial}}{i_1^0 - i_{4\partial}}$ - к.п.д. паропровода; при уменьшении необратимых потерь

состояние i_1^0 стремится к состоянию i_1 , а определенный таким образом к.п.д. паропровода - к единице;

$\eta_{Г} = \frac{l_{\text{Э}}}{l_T^M}$ - к.п.д. электрогенератора (отношение работы $l_{\text{Э}}$, передаваемой

внешнему потребителю к механической работе l_T^M , передаваемой электрогенератору от турбины), величина этого к.п.д. лежит в пределах 0,97...0,99;

$\eta_M = \frac{l_T^M}{l_T^\partial}$ - механический к.п.д. турбины (отношение работы l_T^M ,

переданной электрогенератору к работе l_T^∂ , произведенной паром при расширении в турбине);

$\eta_{oi}^\Pi = \frac{l_{II}^\partial}{l_{II}^{\partial \text{обр}}}$ - внутренний относительный к.п.д. комплекса турбина-насос

(отношение действительной работы цикла с учетом необратимых потерь к работе обратимого цикла).

$$\eta_{oi}^\Pi = \frac{(i_1 - i_2)\eta_{oi}^T - \frac{(i_4 - i_3)}{\eta_{oi}^H}}{(i_1 - i_2) - (i_4 - i_3)}, \text{ где } \eta_{oi}^T = \frac{i_1 - i_{2\partial}}{i_1 - i_2} \text{ и } \eta_{oi}^H = \frac{i_4 - i_3}{i_{4\partial} - i_3} - \text{ относительные}$$

внутренние к.п.д. турбины (0,85...0,90) и насоса (0,85...0,90), определяемые экспериментально;

$$\eta_t = \frac{(i_1 - i_2) - (i_4 - i_3)}{(i_1 - i_4)} - \text{ термический к.п.д. обратимого цикла Ренкина,}$$

определенный как отношение работы цикла (работа турбины минус работа, затраченная в насосе) к подведенной к рабочему телу теплоте. С учетом уравнения для технической работы насоса $(i_4 - i_3) = v_B(p_1 - p_2)$ этот к.п.д. можно записать и в следующем виде (v_B - удельный объем воды):

$$\eta_t = \frac{(i_1 - i_2) - v_B(p_1 - p_2)}{(i_1 - i_4)}.$$

Рассмотрим цикл с реальной паротурбинной установкой. Исходные данные для расчета выберем следующими:

Начальные параметры пара (перед турбиной) $p_1=16,5$ МПа (≈ 168 кгс/см²), $t_1=550^\circ\text{C}$, давление в конденсаторе $p_2=4$ кПа ($\approx 0,04$ кгс/см²), коэффициенты полезного действия $\eta_{\text{КА}}=0,91$, $\eta_{\text{ПП}}=0,99$, $\eta_{\text{T}}=0,98$, $\eta_{\text{М}}=0,97$, $\eta_{oi}^T=0,85$, $\eta_{oi}^H=0,90$.

Рассчитаем сначала термический к.п.д. обратимого цикла Ренкина.

Из термодинамических таблиц свойств воды и водяного пара найдем: энтальпия пара при $p_1=16,5$ МПа и $t_1=550^\circ\text{C}$ составляет $i_1=3432,6$ кДж/кг; энтропия $s_1=6,4623$ кДж/кг. Энтальпию пара в состоянии 2 (на выходе из турбины) находим следующим образом: по таблицам насыщенного пара и воды определяем параметры на линии насыщения при давлении $p_2=4$ кПа: $i''=2554,1$ кДж/кг, $s''=8,4747$ кДж/(кг·К), $i'=121,4$ кДж/кг, $s'=0,4224$ кДж/(кг·К). Находим степень сухости влажного пара в состоянии 2 с учетом того, что при изоэнтропном расширении в турбине $s_1=s_2$:

$$x_2 = \frac{s_1 - s'}{s'' - s'} = \frac{6,4623 - 0,4224}{8,4747 - 0,4224} = 0,75.$$

Теперь, зная i'' и i' , определяем значение энтальпии влажного пара в состоянии 2:

$$i_2 = x_2 \cdot i'' + (1 - x_2) \cdot i' = 0,75 \cdot 2554,1 + 0,25 \cdot 121,4 = 1945,9 \text{ кДж/кг.}$$

Энтальпия и энтропия воды на линии насыщения при давлении $p_2=4$ кПа равны соответственно $i_3=121,4$ кДж/кг и $s_3=0,4224$ кДж/(кг·К). При том же значении энтропии и давлении $p_1=16,5$ МПа с помощью таблиц найдем значение энтальпии воды на выходе из насоса в состоянии 4. Из таблиц имеем (при $p_1=16,5$ МПа):

при $s_a=0,2927$ кДж/(кг·К) - $i_a=99,3$ кДж/кг;

при $s_b=0,4314$ кДж/(кг·К) - $i_b=140,5$ кДж/кг. (Не путать с точками a и b на рис.2). Линейное интерполирование дает: $i_4 = i_a + (s_4 - s_a) \cdot \operatorname{tg}\alpha$, где

$\operatorname{tg}\alpha = \frac{i_b - i_a}{s_b - s_a}$. Подставляя числовые значения, получим

$$i_4 = 99,3 + \frac{140,5 - 99,3}{0,4314 - 0,2927} (0,4224 - 0,2927) = 137,8 \text{ кДж/кг.}$$

Тогда работа турбины в обратимом процессе 1-2 равна

$l_T^{\text{обр}} = i_1 - i_2 = 34236 - 19459 = 14867$ кДж/кг, работа насоса в процессе 3-4

составляет $l_H^{\text{обр}} = i_4 - i_3 = 137,8 - 121,4 = 16,4$ кДж/кг,

количество подведенной теплоты $q_1 = i_1 - i_4 = 34326 - 137,8 = 32948$ кДж/кг.

Найдем теперь термический к.п.д. цикла Ренкина:

$$\eta_t = \frac{l_{\text{ц}}}{q_1} = \frac{l_T^{\text{обр}} - l_H^{\text{обр}}}{q_1} = \frac{14867 - 16,4}{32948} = 0,446.$$

Рассчитаем к.п.д. цикла с учетом необратимых потерь. Определим сначала внутренний относительный к.п.д. комплекса турбина-насос:

$$\eta_{oi}^{\text{ц}} = \frac{(i_1 - i_2)\eta_{oi}^T - \frac{(i_4 - i_3)}{\eta_{oi}^H}}{(i_1 - i_2) - (i_4 - i_3)} = \frac{14867 \cdot 0,85 - \frac{16,4}{0,9}}{14867 - 16,4} = 0,847.$$

Используя определения относительных внутренних к.п.д. турбины и насоса, вычислим значения энтальпии в состояниях 2д и 4д:

$$i_{2д} = i_1 - \eta_{oi}^T (i_1 - i_2) = 34326 - 0,85 \cdot (34326 - 19459) = 21689 \text{ кДж/кг},$$

$$i_{4д} = i_3 + \frac{i_4 - i_3}{\eta_{oi}^H} = 121,4 + \frac{16,4}{0,9} = 139,6 \text{ кДж/кг}.$$

Энтальпия на входе в паропровод (состояние 1⁰):

$$i_1^0 = i_{4д} + \frac{i_1 - i_{4д}}{\eta_{\text{пп}}} = 139,6 + \frac{34326 - 139,6}{0,99} = 34659 \text{ кДж/кг}.$$

Количество теплоты q' , которое должно выделиться в котлоагрегате:

$$q' = \frac{i_1^0 - i_{4д}}{\eta_{\text{ка}}} = \frac{34659 - 139,6}{0,91} = 36553 \text{ кДж/кг}.$$

Таким образом, эффективный к.п.д. действительного цикла равен:

$$\eta_e^{уст} = \eta_{КА} \eta_{ПП} \eta_{Г} \eta_{М} \eta_{oi}^{\Pi} \eta_t = 0,91 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,847 \cdot 0,446 = 0,324,$$

что составляет 72,5% от величины термического к.п.д., т.е. потери на необратимость в рассмотренном цикле весьма значительны. Из 3655 кДж/кг полученной в топке котла теплоты в электрическую энергию превращается только 32,4%, или 1184 кДж/кг.

Располагая значениями термического к.п.д. цикла и к.п.д. каждого из основных элементов установки, определим величины потерь теплоты в каждом из этих элементов. Принимая теплоту, выделившуюся при сгорании топлива q' за 100%, все потери найдем в виде относительных величин $\Delta q/q'$.

Потери теплоты в котле составляют:

$$\Delta q_{КА} = (1 - \eta_{КА})q', \Rightarrow \frac{\Delta q_{КА}}{q'} = (1 - \eta_{КА}) = 1 - 0,91 = 0,09 \quad (9\%).$$

Потери теплоты в паропроводе:

$$\Delta q_{ПП} = (i_1^0 - i_{4\partial})(1 - \eta_{ПП}).$$

Так как $(i_1^0 - i_{4\partial}) = q' \eta_{КА}$ (теплота, которая досталась рабочему телу с учетом потерь в котлоагрегате), то

$$\Delta q_{ПП} = q' \eta_{КА} (1 - \eta_{ПП}) \quad \text{и} \quad \frac{\Delta q_{ПП}}{q'} = \eta_{КА} (1 - \eta_{ПП}) = 0,91 \cdot 0,01 = 0,009 \quad (\text{т.е. } 0,9\%).$$

Теплоту, отданную холодному источнику, в общем виде можно выразить как часть q_1 за вычетом теплоты, превращенной в работу, т.е.

$$q_2^{\partial} = (1 - \eta_i^{\Pi}) q_1.$$

Тогда можно записать:

$$\frac{q_2^{\partial}}{q'} = (1 - \eta_i^{\Pi}) \frac{q_1}{q'} = (1 - \eta_i^{\Pi}) \eta_{KK} \eta_{KA}.$$

Так как внутренний к.п.д. η_i^{Π} цикла по определению - отношение действительной работы цикла к подведенной к рабочему телу теплоте, то

$$\eta_i^{\Pi} = \frac{l_{\Pi}^{\partial}}{q_1} = \frac{(i_1 - i_{2\partial}) - (i_{4\partial} - i_3)}{(i_1 - i_{4\partial})} = \frac{(34326 - 21689) - (139,6 - 1214)}{(34326 - 139,6)} = 0,378.$$

Тогда $\frac{q_2^{\partial}}{q'} = (1 - 0,378) \cdot 0,99 \cdot 0,91 = 0,56$, т.е. холодному источнику передается 56% выделившейся теплоты.

Остальные потери сравнительно малы. Механические потери в турбине:

$$\Delta q_M = (1 - \eta_M) l_{\Pi}^{\partial} = (1 - \eta_M) \eta_i^{\Pi} q_1 = (1 - \eta_M) \eta_i^{\Pi} \eta_{\Pi\Pi} \eta_{KA} q',$$

откуда видно, что $l_{\Pi}^{\partial} = \eta_i^{\Pi} \eta_{\Pi\Pi} \eta_{KA} q'$.

Тогда $\frac{\Delta q_M}{q'} = (1 - \eta_M) \eta_i^{\Pi} \eta_{\Pi\Pi} \eta_{KA} = (1 - 0,97) \cdot 0,378 \cdot 0,99 \cdot 0,91 = 0,01$ (1%).

Механические и электрические потери в генераторе составляют:

$$\Delta q_{\Gamma} = (1 - \eta_{\Gamma}) l_T^M = (1 - \eta_{\Gamma}) \eta_i^{\Pi} \eta_{\Pi\Pi} \eta_{КА} \eta_M q',$$

$$\frac{\Delta q_{\Gamma}}{q'} = (1 - \eta_{\Gamma}) \eta_i^{\Pi} \eta_{\Pi\Pi} \eta_{КА} \eta_M = (1 - 0,98) \cdot 0,378 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 0,91 = 0,007 (0,7\%).$$

Наконец, внешнему потребителю передается работа (электроэнергия)

$$l_{\text{Э}} = q' \eta_e^{\text{уст}}, \text{ так что } \frac{l_{\text{Э}}}{q'} = \eta_e^{\text{уст}} = 0,324 \text{ (32,4\%).}$$

Таким образом, тепловой баланс теплосиловой паротурбинной установки, работающей по циклу Ренкина, выглядит следующим образом:

$$q' = l_{\text{Э}} + q_2^{\text{д}} + \Delta q_{\Gamma} + \Delta q_M + \Delta q_{\Pi\Pi} + \Delta q_{КА}.$$

Разделив на q' , получим:

$$1 = \frac{l_{\text{Э}}}{q'} + \frac{q_2^{\text{д}}}{q'} + \frac{\Delta q_{\Gamma}}{q'} + \frac{\Delta q_M}{q'} + \frac{\Delta q_{\Pi\Pi}}{q'} + \frac{\Delta q_{КА}}{q'}.$$

В нашем расчете $0,324 + 0,56 + 0,007 + 0,01 + 0,009 + 0,09 = 1$. Следовательно, баланс теплоты сведен правильно.

← → ↻ 🏠 <https://www.steamtablesonline.com/steam97web.aspx?lang=ru>

Сервисы методкаб facebook мпэк записная vk почта МПЭК онлайнтрейдинг KBA сады россии твирпх

Главная Калькулятор Помощь

Архив ▾ Тема ▾ Диаграмм ▾ Язык ▾ Помощь ▾ Войти ▾



← 1. Общие Свойства 2. Свойства Сатурации 3. Паровая Турбина 4. Флэш Испаритель 5. T-S Диаграмм 6. H-S Диаграмм → Устан...

Исходные Данные

Выберите функцию:

1. функция (p, t) ▾

1. Давление (абс):

160 бар

2. Температура:

500 °C

Пересчитать

MegaWatSoft

Паровые Таблицы

Зарегистрироваться и

Excel Add-In

ActiveX DLL

Win32 App

Имя Свойства	ИД Свойства	Результаты	Единиц (СИ)	Конста...
1. Термодинамические Свойства - Главный				
1 Давление (абс)	p	160.0000000000	бар	Удель...
2 Температура	t	500.0000000000	°C	Моляр...
3 Плотность	d	51.7498362745	кг/м³	Моляр...
4 Удельный объем	v	0.0193237326	м³/кг	Крити...
5 Удельная энтальпия	h	3297.3093896476	кДж/кг	Крити...

Выходная Панель (* требуется регистрация)

*	p [бар]	t [°C]	v [м³/кг]	h [кДж/кг]	s [кДж/(кг·K)]	ex [кДж/кг]	u [кДж/кг]
1	160.0000000000	500.0000000000	0.0193237326	3297.3093896476	6.3045341299	2811.8602616453	2988.1296675105
2	165.0000000000	550.0000000000	0.0206292842	3434.4956494547	6.4639964875	2936.7679199172	3094.1124607776
3							

Продолжение табл. П.3

Температура $t, ^\circ\text{C}$	$p = 13,00 \text{ МПа}$			$p = 14,00 \text{ МПа}$		
	$t_s = 330,81 ^\circ\text{C}$			$t_s = 336,63 ^\circ\text{C}$		
	$v' = 0,0015670 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,01277 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1533,0 \text{ кДж/кг}; h'' = 2662,4 \text{ кДж/кг};$ $s' = 3,5633 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; s'' = 5,4333 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$			$v' = 0,0016104 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,01149 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1572,8 \text{ кДж/кг}; h'' = 2638,3 \text{ кДж/кг};$ $s' = 3,6262 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; s'' = 5,3737 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$		
	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$
0	0,0009938	13,1	0,0006	0,0009933	14,1	0,0007
10	0,0009942	54,6	0,1497	0,0009938	55,6	0,1496
20	0,0009959	96,0	0,2935	0,0009955	97,0	0,2933
30	0,0009986	137,4	0,4325	0,0009982	138,4	0,4322
40	0,0010021	178,9	0,5670	0,0010017	179,8	0,5666
50	0,0010064	220,4	0,6975	0,0010060	221,3	0,6970
60	0,0010113	262,0	0,8241	0,0010109	262,8	0,8236
70	0,0010169	303,6	0,9471	0,0010164	304,4	0,9465
80	0,0010231	345,2	1,0668	0,0010226	346,0	1,0661
90	0,0010298	386,9	1,1833	0,0010293	387,7	1,1826
100	0,0010371	428,8	1,2969	0,0010366	429,5	1,2961
120	0,0010534	512,8	1,5162	0,0010529	513,5	1,5153
140	0,0010721	597,4	1,7261	0,0010715	598,0	1,7251
160	0,0010933	682,8	1,9281	0,0010926	683,4	1,9269
180	0,0011175	769,4	2,1233	0,0011167	769,9	2,1220
200	0,0011451	857,2	2,3131	0,0011442	857,7	2,3117
250	0,0012356	1086,1	2,7726	0,0012340	1086,1	2,7704
300	<u>0,0013855</u>	<u>1340,5</u>	<u>3,2365</u>	<u>0,0013816</u>	<u>1339,5</u>	<u>3,2324</u>
350	0,01511	2804,0	5,6644	0,01323	2753,5	5,5606
400	0,01901	3029,3	6,0132	0,01722	3004,0	5,9488
450	0,02194	3193,1	6,2482	0,02007	3175,8	6,1953
500	0,02448	3336,1	6,4395	0,02251	3323,0	6,3922
600	0,02903	3598,4	6,7590	0,02681	3589,8	6,7172

Температура $t, ^\circ\text{C}$	$p = 15,00 \text{ МПа}$			$p = 16,00 \text{ МПа}$		
	$t_s = 342,12 ^\circ\text{C},$			$t_s = 347,32 ^\circ\text{C},$		
	$v' = 0,0016580 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,01035 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1612,2 \text{ кДж}/\text{кг}; h'' = 2611,6 \text{ кДж}/\text{кг};$ $s' = 3,6877 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); s'' = 5,3132 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$			$v' = 0,0017101 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,009330 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1651,5 \text{ кДж}/\text{кг}; h'' = 2582,7 \text{ кДж}/\text{кг};$ $s' = 3,7486 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); s'' = 5,2496 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$		
	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж}/\text{кг}$	$s, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж}/\text{кг}$	$s, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
0	0,0009928	15,1	0,0007	0,0009924	16,1	0,0008
10	0,0009933	56,5	0,1495	0,0009928	57,5	0,1494
20	0,0009950	97,9	0,2930	0,0009946	98,8	0,2928
30	0,0009978	139,3	0,4318	0,0009973	140,2	0,4315
40	0,0010013	180,7	0,5662	0,0010008	181,6	0,5659
50	0,0010055	222,1	0,6966	0,0010051	223,0	0,6961
60	0,0010105	263,6	0,8230	0,0010100	264,5	0,8225
70	0,0010160	305,2	0,9459	0,0010156	306,0	0,9453
80	0,0010221	346,8	1,0655	0,0010217	347,6	1,0648
90	0,0010289	388,5	1,1819	0,0010284	389,3	1,1812
100	0,0010361	430,3	1,2954	0,0010356	431,0	1,2946
120	0,0010523	514,2	1,5144	0,0010518	514,9	1,5136
140	0,0010709	598,7	1,7241	0,0010703	599,4	1,7231
160	0,0010919	684,0	1,9258	0,0010912	684,6	1,9247
180	0,0011159	770,4	2,1208	0,0011151	771,0	2,1195
200	0,0011432	858,1	2,3102	0,0011423	858,6	2,3087
250	0,0012324	1086,2	2,7682	0,0012308	1086,3	2,7660
300	<u>0,0013779</u>	<u>1338,6</u>	<u>3,2384</u>	<u>0,0013742</u>	<u>1337,7</u>	<u>3,2245</u>
350	0,01148	2693,8	5,4450	0,009782	2618,5	5,3071
400	0,01566	2977,6	5,8851	0,01427	2949,7	5,8215
450	0,01845	3158,2	6,1443	0,01702	3140,0	6,0947
500	0,02079	3309,7	6,3471	0,01929	3296,3	6,3038
600	0,02489	3580,2	6,6776	0,02321	3572,4	6,6401

Продолжение табл. П.3

Температура $t, ^\circ\text{C}$	$p = 17,00 \text{ МПа}$			$p = 18,00 \text{ МПа}$		
	$t_s = 352,26 ^\circ\text{C},$			$t_s = 356,96 ^\circ\text{C},$		
	$v' = 0,0017690 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,008401 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1691,6 \text{ кДж/кг}; h'' = 2550,8 \text{ кДж/кг};$ $s' = 3,8103 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; s'' = 5,1841 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$			$v' = 0,0018380 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,007534 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1733,4 \text{ кДж/кг}; h'' = 2514,4 \text{ кДж/кг};$ $s' = 3,8739 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; s'' = 5,1135 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$		
	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$
0	0,0009919	17,1	0,0008	0,0009914	18,1	0,0008
10	0,0009924	58,4	0,1493	0,0009919	59,4	0,1491
20	0,0009942	99,7	0,2926	0,0009937	100,7	0,2924
30	0,0009969	141,1	0,4312	0,0009965	142,0	0,4309
40	0,0010004	182,4	0,5655	0,0010000	183,3	0,5651
50	0,0010047	223,8	0,6956	0,0010043	224,7	0,6952
60	0,0010096	265,3	0,8220	0,0010092	266,1	0,8215
70	0,0010151	306,8	0,9448	0,0010147	307,6	0,9442
80	0,0010212	348,4	1,0642	0,0010208	349,2	3,0636
90	0,0010279	390,0	1,1805	0,0010274	390,8	1,1798
100	0,0010351	431,8	1,2939	0,0010346	432,5	1,2931
120	0,0010512	515,6	1,5127	0,0010507	516,3	1,5118
140	0,0010697	600,0	1,7222	0,0010691	600,7	1,7212
160	0,0010906	685,2	1,9236	0,0010899	685,9	1,9225
180	0,0011143	771,5	2,1182	0,0011136	772,0	2,1170
200	0,0011414	859,0	2,3073	0,0011405	859,5	2,3058
250	0,0012393	1086,4	2,7639	0,0012377	1086,5	2,7617
300	0,0013607	1336,9	3,2206	0,0013672	1336,1	3,2168
350	<u>0,001728</u>	<u>1668,7</u>	<u>3,7636</u>	<u>0,001704</u>	<u>1660,9</u>	<u>3,7582</u>
400	0,01303	2920,2	5,7575	0,01191	2889,0	5,6926
450	0,01576	3121,4	6,0463	0,01463	3102,3	5,9989
500	0,01797	3282,6	6,2620	0,01678	3268,7	6,2215
600	0,02173	3563,6	6,6043	0,02041	3554,8	6,5701

Продолжение табл. П.3

Температура $t, ^\circ\text{C}$	$p = 19,00 \text{ МПа}$			$p = 20,00 \text{ МПа}$		
	$t_S = 361,44 ^\circ\text{C},$			$t_S = 365,71 ^\circ\text{C},$		
	$v' = 0,0019231 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,006700 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1778,2 \text{ кДж/кг}; h'' = 2470,1 \text{ кДж/кг};$ $s' = 3,9417 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; s'' = 5,0321 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$			$v' = 0,002038 \text{ м}^3/\text{кг}; v'' = 0,005873 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1828,8 \text{ кДж/кг}; h'' = 2340,2 \text{ кДж/кг};$ $s' = 4,0181 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; s'' = 4,9338 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$		
	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$
0	0,0009909	19,1	0,0008	0,0009904	20,1	0,0008
10	0,0009915	60,4	0,1490	0,0009910	61,3	0,1489
20	0,0009933	101,6	0,2921	0,0009929	102,5	0,2919
30	0,0009960	142,9	0,4306	0,0009956	143,8	0,4303
40	0,0009996	184,2	0,5647	0,0009992	185,1	0,5643
50	0,0010038	225,6	0,6947	0,0010034	226,4	0,6943
60	0,0010087	267,0	0,8209	0,0010083	267,8	0,8204
70	0,0010142	308,4	0,9436	0,0010138	309,3	0,9430
80	0,0010203	350,0	1,0629	0,0010199	350,8	1,0623
90	0,0010270	391,6	1,1791	0,0010265	392,4	1,1784
100	0,0010342	433,3	1,2924	0,0010337	434,0	1,2916
120	0,0010502	517,0	1,5110	0,0010496	517,7	1,5101
140	0,0010685	601,4	1,7202	0,0010679	602,0	1,7192
160	0,0010892	686,5	1,9214	0,0010886	687,1	1,9203
180	0,0011128	772,6	2,1157	0,0011120	773,1	2,1145
200	0,0011396	860,0	2,3044	0,0011387	860,4	2,3030
250	0,0012362	1086,7	2,7596	0,0012247	1086,8	2,7575
300	0,0013639	1335,3	3,2131	0,0013606	1334,6	3,2095
350	<u>0,001683</u>	<u>1654,2</u>	<u>3,7448</u>	<u>0,001666</u>	<u>1648,4</u>	<u>3,7327</u>
400	0,01089	2855,7	5,6262	0,009952	2820,1	5,5578
450	0,01362	3082,6	5,9522	0,01270	3062,4	5,9061
500	0,01573	3254,5	6,1822	0,01477	3240,2	6,1440
600	0,01923	3545,9	6,5372	0,01816	3536,9	6,5055

Окончание табл. П.3

Температура $t, ^\circ\text{C}$	$p = 21,00 \text{ МПа}$			$p = 22,00 \text{ МПа}$		
	$t_s = 369,79 ^\circ\text{C},$			$t_s = 376,80 ^\circ\text{C},$		
	$\nu' = 0,002218 \text{ м}^3/\text{кг}; \nu'' = 0,005006 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 1892,2 \text{ кДж/кг}; h'' = 2340,2 \text{ кДж/кг};$ $s' = 4,1137 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); s'' = 4,8106 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$			$\nu' = 0,002675 \text{ м}^3/\text{кг}; \nu'' = 0,003757 \text{ м}^3/\text{кг};$ $h' = 2007,7 \text{ кДж/кг}; h'' = 2192,5 \text{ кДж/кг};$ $s' = 4,2891 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); s'' = 4,5748 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$		
	$\nu, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$\nu, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$s, \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
0	0,0009900	21,1	0,0008	0,0009895	22,1	0,0009
10	0,0009906	62,3	0,1488	0,0009901	63,2	0,1436
20	0,0009924	103,4	0,2917	0,0009920	104,4	0,2914
30	0,0009952	144,7	0,4300	0,0009948	145,6	0,4296
40	0,0009988	185,9	0,5639	0,0009983	186,8	0,5635
50	0,0010030	227,3	0,6938	0,0010026	228,1	0,6934
60	0,0010079	268,6	0,8199	0,0010075	269,5	0,8194
70	0,0010134	310,1	0,9424	0,0010129	310,9	0,9419
80	0,0010194	351,6	1,0616	0,0010190	352,4	1,0610
90	0,0010260	393,1	1,1777	0,0010256	393,9	1,1770
100	0,0010332	434,8	1,2909	0,0010327	435,6	1,2902
120	0,0010491	518,5	1,5093	0,0010486	519,2	1,5084
140	0,0010673	602,7	1,7183	0,0010667	603,4	1,7173
160	0,0010879	687,7	1,9192	0,0010872	668,3	1,9181
180	0,0011112	773,7	2,1132	0,0011105	774,2	2,1120
200	0,0011378	860,9	2,3015	0,0011369	861,4	2,3001
250	0,0012232	1086,9	2,7554	0,0012218	1087,1	2,7534
300	0,0013574	1333,9	3,2059	0,0013542	1333,3	3,2024
350	0,0016650	1643,1	3,7217	0,0016636	1638,4	3,7114
400	0,009080	2781,6	5,4865	0,008262	2739,7	5,4114
450	0,01187	3041,7	5,8603	0,01111	3020,3	5,8149
500	0,01391	3225,6	6,1066	0,01312	3210,8	6,0700
600	0,01720	3527,9	6,4749	0,01633	3518,8	6,4453

Ривкин

Таблица II-II

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА
В СОСТОЯНИИ НАСЫЩЕНИЯ (ПО ДАВЛЕНИЯМ)**

p	t	v^*	v''	h'	h''	r	s'	s''	$s''-s'$
$1,00 \cdot 10^3$	6,982	0,0010001	129,208	29,33	2513,8	2484,5	0,1060	8,9756	8,8696
$1,50 \cdot 10^3$	13,034	0,0010006	87,982	54,71	2525,0	2470,3	0,1956	8,8278	8,6322
$2,00 \cdot 10^3$	17,511	0,0010012	67,006	73,45	2533,2	2459,8	0,2606	8,7236	8,4630
$2,20 \cdot 10^3$	19,029	0,0010015	61,229	79,80	2535,9	2456,1	0,2824	8,6892	8,4068
$2,40 \cdot 10^3$	20,431	0,0010018	56,392	85,67	2538,5	2452,8	0,3024	8,6578	8,3554
$2,50 \cdot 10^3$	21,094	0,0010020	54,256	88,44	2539,7	2451,3	0,3119	8,6431	8,3312
$2,60 \cdot 10^3$	21,735	0,0010021	52,282	91,12	2540,9	2449,8	0,3210	8,6290	8,3080
$2,80 \cdot 10^3$	22,953	0,0010024	48,745	96,21	2543,1	2446,9	0,3382	8,6024	8,2642
$3,00 \cdot 10^3$	24,098	0,0010027	45,668	101,00	2545,2	2444,2	0,3543	8,5776	8,2233
$3,20 \cdot 10^3$	25,178	0,0010029	42,967	105,51	2547,2	2441,7	0,3695	8,5545	8,1850
$3,40 \cdot 10^3$	26,200	0,0010032	40,575	109,78	2549,0	2439,2	0,3838	8,5327	8,1489
$3,50 \cdot 10^3$	26,692	0,0010033	39,480	111,84	2549,9	2438,1	0,3907	8,5224	8,1317
$3,60 \cdot 10^3$	27,172	0,0010035	38,443	113,84	2550,8	2437,0	0,3973	8,5123	8,1150
$3,80 \cdot 10^3$	28,097	0,0010037	36,530	117,71	2552,5	2434,8	0,4102	8,4930	8,0828
$4,00 \cdot 10^3$	28,981	0,0010040	34,803	121,41	2554,1	2432,7	0,4224	8,4747	8,0523
$4,20 \cdot 10^3$	29,828	0,0010043	33,237	124,94	2555,6	2430,7	0,4341	8,4573	8,0232
$4,40 \cdot 10^3$	30,640	0,0010045	31,810	128,34	2557,1	2428,8	0,4453	8,4407	7,9954
$4,50 \cdot 10^3$	31,034	0,0010046	31,142	129,98	2557,8	2427,8	0,4507	8,4327	7,9820
$4,60 \cdot 10^3$	31,420	0,0010048	30,503	131,60	2558,5	2426,9	0,4560	8,4249	7,9689
$4,80 \cdot 10^3$	32,172	0,0010050	29,303	134,74	2559,9	2425,2	0,4663	8,4097	7,9434
$5,00 \cdot 10^3$	32,90	0,0010052	28,196	137,77	2561,2	2423,4	0,4762	8,3952	7,9190
$5,20 \cdot 10^3$	33,60	0,0010055	27,172	140,70	2562,4	2421,7	0,4858	8,3813	7,8955
$5,40 \cdot 10^3$	34,27	0,0010057	26,222	143,52	2563,6	2420,1	0,4950	8,3678	7,8728
$5,50 \cdot 10^3$	34,60	0,0010058	25,772	144,91	2564,2	2419,3	0,4995	8,3613	7,8618

Табл Термодинамические свойства воды и перегретого пара

t	p=15,0 МПа			p=15,5 МПа			p=16,0 МПа			p=16,5 МПа		
	t _g =342,12			t _g =344,75			t _g =347,32			t _g =349,82		
	v'=0,0016580; v''=0,01035; h'=1612,2; h''=2611,6; s'=3,6877; s''=5,3122			v'=0,0016834; v''=0,009827; h'=1631,8; h''=2397,5; s'=3,1781; s''=5,2812			v'=0,0017101; v''=0,009330; h'=1651,5; h''=2582,7; s'=3,7486; s''=5,2496			v'=0,0017385; v''=0,008856; h'=1671,4; h''=2567,2; s'=3,7793; s''=5,2173		
v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s	
0	0,0009928	15,1	0,0007	0,0009926	15,6	0,0007	0,0009924	16,1	0,0008	0,0009921	16,6	0,0008
10	0,0009933	56,5	0,1495	0,0009931	57,0	0,1494	0,0009928	57,5	0,1494	0,0009926	58,0	0,1493
20	0,0009950	97,9	0,2930	0,0009948	98,3	0,2929	0,0009946	98,8	0,2928	0,0009944	99,3	0,2927
30	0,0009978	139,3	0,4318	0,0009975	139,7	0,4317	0,0009973	140,2	0,4315	0,0009971	140,6	0,4314
40	0,0010013	180,7	0,5662	0,0010011	181,1	0,5660	0,0010008	181,6	0,5659	0,0010006	182,0	0,5657
50	0,0010055	222,1	0,6966	0,0010053	222,6	0,6963	0,0010051	223,0	0,6961	0,0010049	223,4	0,6959
60	0,0010105	263,6	0,8230	0,0010102	264,0	0,8228	0,0010100	264,5	0,8225	0,0010098	264,9	0,8222
70	0,0010160	305,2	0,9459	0,0010158	305,6	0,9456	0,0010156	306,0	0,9453	0,0010153	306,4	0,9450
80	0,0010221	346,8	1,0655	0,0010219	347,2	1,0652	0,0010217	347,6	1,0648	0,0010215	348,0	1,0645
90	0,0010289	388,5	1,1819	0,0010286	388,9	1,1815	0,0010284	389,3	1,1812	0,0010281	389,6	1,1808
100	0,0010361	430,3	1,2954	0,0010359	430,6	1,2950	0,0010356	431,0	1,2946	0,0010354	431,4	1,2942
110	0,0010439	472,2	1,4062	0,0010437	472,5	1,4058	0,0010434	472,9	1,4054	0,0010432	473,3	1,4050
120	0,0010523	514,2	1,5144	0,0010520	514,5	1,5140	0,0010518	514,9	1,5136	0,0010515	515,2	1,5131
130	0,0010613	556,4	1,6204	0,0010610	556,7	1,6199	0,0010607	557,0	1,6194	0,0010604	557,4	1,6190
140	0,0010709	598,7	1,7241	0,0010706	599,0	1,7236	0,0010703	599,4	1,7231	0,0010700	599,7	1,7226
150	0,0010811	641,3	1,8259	0,0010807	641,6	1,8254	0,0010804	641,9	1,8248	0,0010801	642,2	1,8243
160	0,0010919	684,0	1,9258	0,0010916	684,3	1,9253	0,0010912	684,6	1,9247	0,0010909	685,0	1,9241
170	0,0011035	727,1	2,0241	0,0011032	727,4	2,0235	0,0011028	727,7	2,0229	0,0011024	728,0	2,0223
180	0,0011159	770,4	2,1208	0,0011155	770,7	2,1201	0,0011151	771,0	2,1195	0,0011147	771,2	2,1189
190	0,0011291	814,1	2,2161	0,0011287	814,3	2,2154	0,0011282	814,6	2,2147	0,0011278	814,8	2,2140
200	0,0011432	858,1	2,3102	0,0011428	858,4	2,3095	0,0011423	858,6	2,3087	0,0011419	858,8	2,3080
210	0,0011584	902,6	2,4032	0,0011579	902,8	2,4024	0,0011574	903,0	2,4016	0,0011569	903,2	2,4009
220	0,0011748	947,6	2,4953	0,0011742	947,8	2,4945	0,0011736	947,9	2,4936	0,0011731	948,1	2,4928
230	0,0011924	993,1	2,5867	0,0011918	993,2	2,5858	0,0011912	993,4	2,5849	0,0011905	993,5	2,5840
240	0,0012115	1039,3	2,6776	0,0012108	1039,4	2,6766	0,0012101	1039,5	2,6756	0,0012094	1039,6	2,6746
250	0,0012324	1086,2	2,7682	0,0012316	1086,3	2,7671	0,0012308	1086,3	2,7660	0,0012300	1086,4	2,7649
260	0,0012553	1134,0	2,8587	0,0012544	1134,0	2,8575	0,0012535	1134,0	2,8563	0,0012526	1134,0	2,8552
270	0,0012807	1182,9	2,9496	0,0012796	1182,8	2,9482	0,0012786	1182,8	2,9469	0,0012776	1182,7	2,9456
280	0,0013090	1233,1	3,0411	0,0013078	1232,9	3,0396	0,0013065	1232,8	3,0381	0,0013053	1232,6	3,0366
290	0,0013410	1284,9	3,1338	0,0013396	1284,6	3,1321	0,0013381	1284,3	3,1304	0,0013366	1284,0	3,1288
300	0,0013779	1338,6	3,2284	0,0013761	1338,2	3,2264	0,0013742	1337,7	3,2245	0,0013725	1337,3	3,2225
310	0,0014212	1395,0	3,3259	0,0014188	1394,3	3,3236	0,0014165	1393,7	3,3213	0,0014143	1393,1	3,3190
320	0,0014736	1455,0	3,4279	0,0014705	1454,0	3,4250	0,0014674	1453,0	3,4222	0,0014644	1452,1	3,4194
330	0,0015402	1520,3	3,5371	0,0015356	1518,8	3,5333	0,0015312	1517,3	3,5296	0,0015270	1515,9	3,5260