

4.2. Варианты контрольных заданий и методические указания

4.2.1. Задача № 1

Тема: Расчет солнечной электростанции башенного типа

На солнечной электростанции башенного типа установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность F_r м². Коэффициент отражения гелиостата $R_{отр}$. Максимальная облученность зеркала гелиостата E_r .

Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность $E_{пр}$. Коэффициент поглощения приемника $A_{погл}$. Степень черноты приемника $\varepsilon_{пр}$.

В приемнике нагревается и испаряется рабочее тело (вода) до температуры t_0 . Давление рабочего тела составляет p_0 . Полученный перегретый пар направляется в турбину мощностью N_s , работающую по циклу Ренкина. Давление пара за турбиной составляет p_k . Относительный внутренний КПД турбины η_{oi} . Механический КПД $\eta_m = 0,975$. КПД электрогенератора $\eta_g = 0,985$. Работой насоса, потерями тепла при его транспортировке, собственными нуждами – пренебречь.

Определить:

- расход пара на турбину D_0 , кг/с;
- площадь поверхности приемника $F_{пр}$ и тепловые потери в нем $Q_{пот}$, вызванные излучением и конвекцией. Принять, что конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения;
- энергию, полученную приемником от солнца через гелиостаты (кВт).
- количество гелиостатов – n , шт;
- как изменится мощность СЭС, если вместо паротурбинной установки применить кремниевые преобразователи с КПД $\eta_{фэ} = 0,141$, занимающие ту же площадь, что и зеркала гелиостатов?

Исходные данные взять из таблицы 1 по вариантам.

Таблица 1

Исходные данные для задачи № 1

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверхность гелиостата, F_r , м ²	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
Коэффициент отражения гелиостата, $R_{отр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность зеркала гелиостата, E_r , Вт/м ²	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{пр}$, МВт/м ²	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	2,5	2,0	1,9	2,1	1,9
Коэффициент поглощения приемника, $A_{погл}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,95	0,96	0,97	0,95	0,95
Степень черноты приемника, $\varepsilon_{пр}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,97	0,94	0,94	0,93	0,95	0,94
Начальная температура пара, t_0 , °С	590	580	570	600	545	550	555	535	565	585
Начальное давление пара, p_0 , МПа	10	11	12	13	14	13,5	13,7	12,5	11,2	10,6
Мощность СЭС, N_s , МВт	1,05	3	1,1	5	2	1,2	4,0	1,0	5,5	4,0
Конечное давление пара, p_k , кПа	4,5	5	5,5	6	6,5	3	3,5	4,2	4,3	4,4
Относительный внутренний КПД турбины, η_{oi}	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84

Величина	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Поверхность гелиостата, F_r , м ²	54	51	68	65	62	69	66	63	60	67
Коэффициент отражения гелиостата, $R_{отр}$	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82
Максимальная облученность зеркала гелиостата, E_r , Вт/м ²	595	580	605	600	610	595	580	605	600	610
Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{пр}$, МВт/м ²	2,44	2,14	2,24	2,34	2,64	2,54	2,04	1,94	2,14	1,94
Коэффициент поглощения приемника, $A_{погл}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,93	0,95	0,96	0,94	0,95
Степень черноты приемника, $\varepsilon_{пр}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,96	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94
Начальная температура пара, t_0 , °С	450	480	470	400	445	450	455	435	465	485
Начальное давление пара, p_0 , МПа	10	11	12	13	14	13,5	13,7	12,5	11,2	10,6
Мощность СЭС, N_s , МВт	2,05	3,5	1,5	5,5	2,5	1,4	3,4	2,0	4,5	4,2
Конечное давление пара, p_k , кПа	6	6,5	3	3,5	4,2	6	6,5	3	3,5	4,2
Относительный внутренний КПД турбины, η_{oi}	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84

Величина	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Поверхность гелиостата, F_r , м ²	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
Коэффициент отражения гелиостата, $R_{отр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность зеркала гелиостата, E_r , Вт/м ²	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{пр}$, МВт/м ²	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	2,54	2,0	1,9	2,15	1,95
Коэффициент поглощения приемника, $A_{погл}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,93	0,95	0,96	0,94	0,95
Степень черноты приемника, $\varepsilon_{пр}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,96	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94
Начальная температура пара, t_0 , °С	590	580	570	600	545	550	555	535	565	585
Начальное давление пара, p_0 , МПа	9	12,5	11,5	13,5	14,5	12,7	11,7	14,5	16,2	12,6
Мощность СЭС, N_s , МВт	4,5	3	2,5	1,55	4,2	3,2	2,5	2,0	5,5	4
Конечное давление пара, p_k , кПа	4,5	5	5,5	6	6,5	3	3,5	4,2	4,3	4,4
Относительный внутренний КПД турбины, η_{oi}	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84

Методические указания к задаче № 1

1. Изобразим схематично солнечную электростанцию башенного типа (рис. 1).

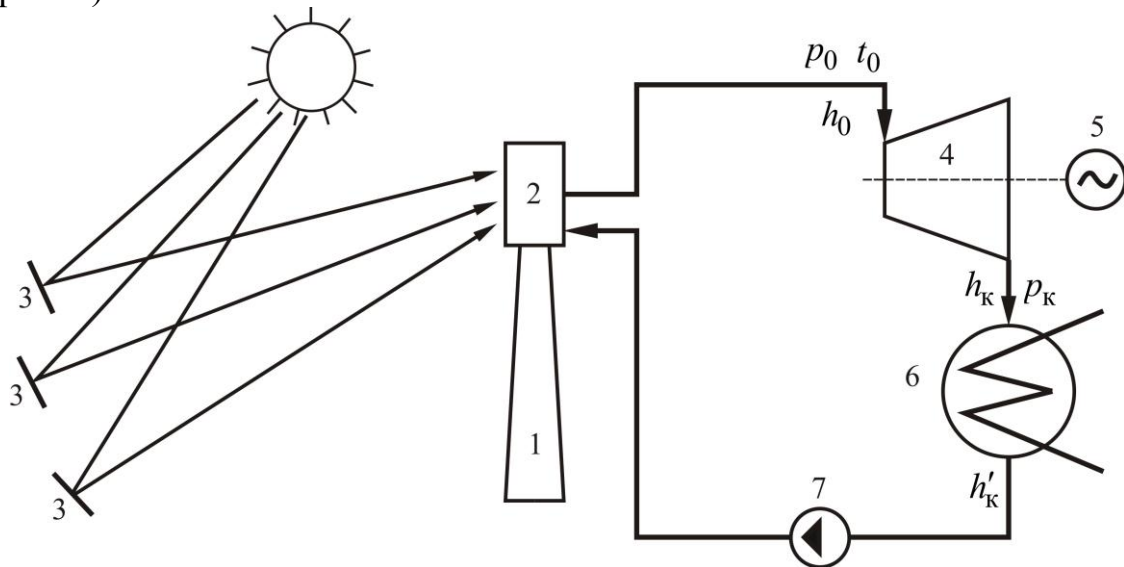


Рис. 1. Схема солнечной электростанции башенного типа:

1 – солнечная башня; 2 – приемник; 3 – гелиостаты; 4 – паровая турбина; 5 – электрогенератор; 6 – конденсатор; 7 – насос

2. Построим процесс расширения пара в турбине в $h-s$ диаграмме (рис. 2).

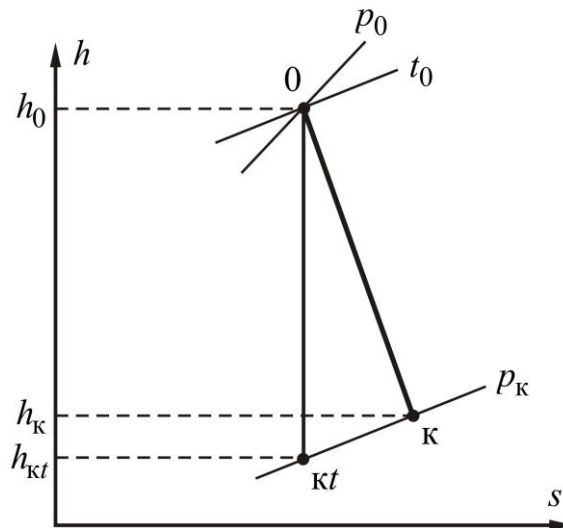


Рис. 2. Процесс расширения пара в турбине в $h-s$ диаграмме:

0– kt – теоретический процесс; 0– $к$ – действительный

3. Теоретический (располагаемый) теплоперепад турбины:

$$H_0 = h_0 - h_{кт}, \text{ кДж/кг},$$

где

h_0 – энтальпия пара на входе в турбину – точка 0 (рис. 2). Определяется из таблиц свойств воды и водяного пара по p_0 и t_0 .

h_{kt} – энтальпия пара на выходе из турбины в теоретическом процессе – точка kt . Определяется из таблиц свойств воды и водяного пара по p_k и s_0 (т.к. процесс 0– kt происходит при $s = const$).

4. Действительный теплоперепад турбины:

$$H_i = H_0 \cdot \eta_{oi}, \text{ кДж/кг}.$$

где

η_{oi} – относительный внутренний КПД турбины, известен по заданию.

5. Энтальпия пара на выходе из турбины в действительном процессе:

$$h_k = h_0 - H_i, \text{ кДж/кг}.$$

6. По давлению p_k из таблиц свойств воды и водяного пара находим значение энтальпии конденсата h'_k .

7. Расход пара на турбину определяется из основного энергетического уравнения турбины:

$$D_0 = \frac{1000 \cdot N_s}{H_i \cdot \eta_m \cdot \eta_s}, \text{ кг/с}.$$

8. Расход тепла на турбоустановку:

$$Q_{ТУ} = D_0 (h_0 - h'_k), \text{ кВт}.$$

9. Удельные потери тепла с поверхности приемника солнечной энергии за счет излучения:

$$q_{изл} = c_0 \cdot \varepsilon_{пр} \cdot \left(\frac{T_0}{100} \right)^4, \text{ Вт/м}^2,$$

где

$c_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ – степень излучения абсолютно черного тела (постоянная Стефана – Больцмана).

10. Из условия известно, что:

$$q_{конв} = 0,5 \cdot q_{изл}.$$

Тогда:

$$\Delta q_{пот} = q_{изл} + q_{конв} = 1,5 \cdot q_{изл}.$$

11. Полная величина тепловых потерь приемника определяется по формуле:

$$\Delta Q_{\text{пот}} = \Delta q_{\text{пот}} \cdot F_{\text{пр}},$$

где

$F_{\text{пр}}$ – площадь поверхности приемника. Задаемся этой величиной в диапазоне $1 \div 7 \text{ м}^2$.

12. Количество тепла, полученное приемником от солнца через гелиостаты, определяется по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{ГУ}} + \Delta Q_{\text{пот}},$$

13. Площадь поверхности приемника:

$$F'_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}}, \text{ м}^2,$$

где

$E_{\text{пр}}$ – максимальная энергетическая освещенность приемника, известна по заданию.

14. Погрешность вычислений:

$$\varepsilon = \left| \frac{F'_{\text{пр}} - F_{\text{пр}}}{F'_{\text{пр}}} \right| \cdot 100 \leq 1\%.$$

Если расхождение между заданной и полученной величиной площади находится в допустимых пределах, то расчет считаем законченным. Если нет, то возвращаемся к п. 11, приняв $F_{\text{пр}} = F'_{\text{пр}}$.

15. Количество тепла, получаемое приемником от солнца через гелиостаты, можно рассчитать по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = E_{\text{г}} \cdot n \cdot F_{\text{г}} \cdot R_{\text{отр}} \cdot A_{\text{погл}}.$$

Тогда, количество гелиостатов:

$$n = \frac{Q_{\text{пр}}}{E_{\text{г}} \cdot F_{\text{г}} \cdot R_{\text{отр}} \cdot A_{\text{погл}}}.$$

14. Мощность солнечной электростанции в случае, если вместо ПТУ применить кремниевые фотоэлементы, занимающие ту же площадь, что и зеркала гелиостатов:

$$N_{\text{с}}^{\phi} = E_{\text{г}} \cdot n \cdot F_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{фс}}.$$

4.2.2. Задача № 2

Тема: Расчет системы солнечного теплоснабжения здания

На крыше здания установлен пластинчатый приемник солнечной энергии проточного типа, который имеет поверхность F , м^2 . Коэффициент использования солнечной энергии $\eta_{\text{пр}}$. Облученность приемника E . Приемник освещается солнцем в течение суток $\tau_{\text{осв}}$.

В приемнике нагревается рабочее тело (вода) от температуры $t_{\text{в1}}$ до температуры $t_{\text{в2}}$. Вода направляется в систему теплоснабжения здания, тепловой мощностью $Q_{\text{т.сн}}$ и в аккумулятор тепловой энергии.

Определить:

- расход воды через приемник $G_{\text{в}}$, кг/с
- расходы воды в систему теплоснабжения $G_{\text{т.сн}}$ и в аккумулятор $G_{\text{акк}}$, кг/с
- площадь поверхности приемника F , м^2
- емкость аккумулятора V , м^3

Исходные данные взять из таблицы 2 по вариантам.

Таблица 2

Исходные данные для задачи № 2

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент использования солнечной энергии $\eta_{\text{пр}}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность приемника, E , Вт/м^2 .	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Температура воды на входе, $t_{\text{в1}}$, $^{\circ}\text{C}$	32	45	27	40	30	45	37	25	30	19
Температура воды на выходе, $t_{\text{в2}}$, $^{\circ}\text{C}$	45	53	45	55	54	56	49	55	50	36
Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{\text{т.сн}}$, кВт	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Период освещения приемника, $\tau_{\text{осв}}$, час	5	6	4	6	7	5	6	7	5	4

Величина	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Коэффициент использования солнечной энергии $\eta_{пр}$	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76
Максимальная облученность приемника, E , Вт/м ² .	450	475	480	485	490	400	410	420	515	505
Температура воды на входе, $t_{в1}$, °С	35	44	24	41	34	41	38	21	19	18
Температура воды на выходе, $t_{в2}$, °С	48	58	47	56	55	58	52	53	45	36
Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{т.чн}$, кВт	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	1,1	1,6	2,1	2,6	3,1
Период освещения приемника, $\tau_{осв}$, час	7	6	4	6	7	5	6	7	5	4
Величина	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Коэффициент использования солнечной энергии $\eta_{пр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность приемника, E , Вт/м ² .	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Температура воды на входе, $t_{в1}$, °С	32	45	27	40	30	45	37	25	30	19
Температура воды на выходе, $t_{в2}$, °С	45	53	45	55	54	56	49	55	50	36
Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{т.чн}$, кВт	1,2	1,3	2,2	2,7	3,1	3,2	4,1	4,3	5,1	5,2
Период освещения приемника, $\tau_{осв}$, час	4	6	7	5	6	4	6	7	5	6

Методические указания к задаче № 2

1. Изобразим схему системы солнечного теплоснабжения здания (рис. 3).

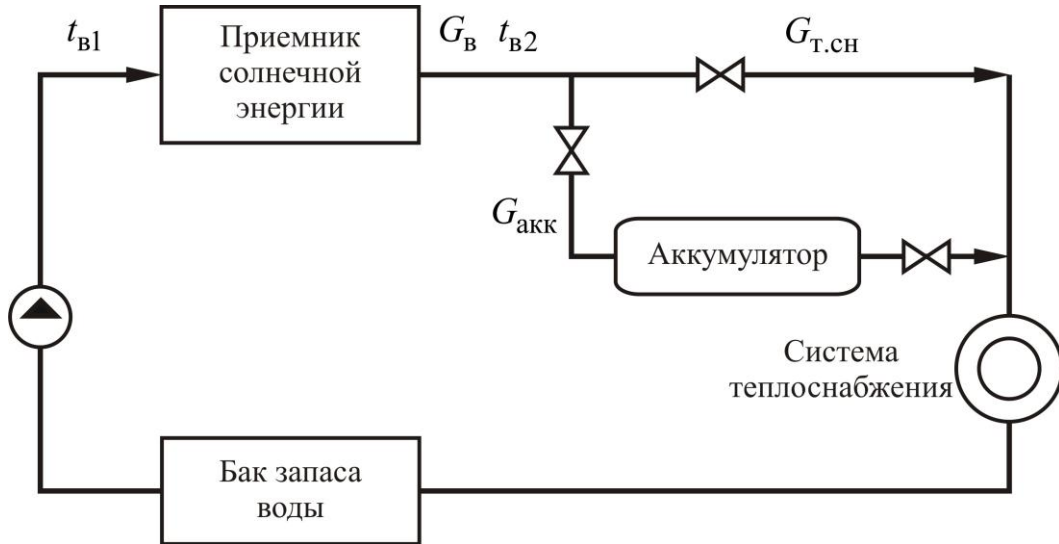


Рис. 3. Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения здания

2. Суточное потребление тепла системой теплоснабжения определяется по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{\text{т.сн}}, \text{ Дж},$$

где

24 – количество часов в сутках;

3600 – число секунд в 1 часе;

$Q_{\text{т.сн}}$ – мощность системы теплоснабжения рассматриваемого здания.

3. Тепло, воспринимаемое приемником солнечной энергии в течение периода освещенности, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot F \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600, \text{ Дж},$$

где

E – облученность приемника,

$\eta_{\text{пр}}$ – коэффициент использования солнечной энергии приемником,

F – площадь поверхности приемника,

$\tau_{\text{осв}}$ – период освещения приемника солнцем в течение суток.

4. Тогда уравнение теплового баланса приемника солнечной энергии можно записать в виде:

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{пр}},$$

или

$$24 \cdot Q_{\text{т.сн}} = E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot F \cdot \tau_{\text{осв}}.$$

5. Из этого уравнения можно определить площадь поверхности пластинчатого приемника солнечной энергии проточного типа F :

$$F = \frac{24 \cdot Q_{\text{т.сн}}}{E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{осв}}}, \text{ м}^2$$

6. Расход воды через приемник солнечной энергии определяется по формуле:

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600} = \frac{24 \cdot Q_{\text{т.сн}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) \cdot \tau_{\text{осв}}}, \text{ кг/с},$$

где

$$c_p = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} - \text{теплоемкость воды};$$

$t_{\text{в1}}, t_{\text{в2}}$ – начальная и конечная температура рабочего тела (воды) соответственно.

7. Расход воды в систему теплоснабжения здания рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{т.сн}} = \frac{Q_{\text{т.сн}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})}, \text{ кг/с}.$$

8. Расход воды в аккумулятор тепловой энергии накопительного типа рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{акк}} = G_{\text{в}} - G_{\text{т.сн}}, \text{ кг/с}.$$

9. Емкость аккумулятора можно определить по формуле:

$$V = G_{\text{акк}} \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot \frac{1}{\rho}, \text{ м}^3,$$

где

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3 - \text{плотность воды}.$$

4.2.3. Задача № 3

Тема: Расчет тепловой схемы геотермальной электростанции бинарного типа

Геотермальная электростанция состоит из двух турбин:

- первая – работает на насыщенном водяном паре, полученном в расширителе. Электрическая мощность – $N_3^{пт}$;
- вторая – работает на насыщенном паре хладона – R11, который испаряется за счёт тепла воды, отводимой из расширителя.

Вода из геотермальных скважин с давлением $p_{гв}$ температурой $t_{гв}$ поступает в расширитель. В расширителе образуется сухой насыщенный пар с давлением p_p . Этот пар направляется в паровую турбину. Оставшаяся вода из расширителя идёт в испаритель, где охлаждается на $\Delta t'_в$ и закачивается обратно в скважину. Температурный напор в испарительной установке $\delta t_{и} = 20$ °С. Рабочие тела расширяются в турбинах и поступают в конденсаторы, где охлаждаются водой из реки с температурой $t_{хв}$. Нагрев воды в конденсаторе $\Delta t'_в = 10$ °С, а недогрев до температуры насыщения $\delta t'_к = 5$ °С.

Относительные внутренние КПД турбин $\eta_{oi}^{пт} = \eta_{oi}^{хт} = 0,8$. Электрохимический КПД турбогенераторов $\eta_{эм} = 0,95$.

Определить:

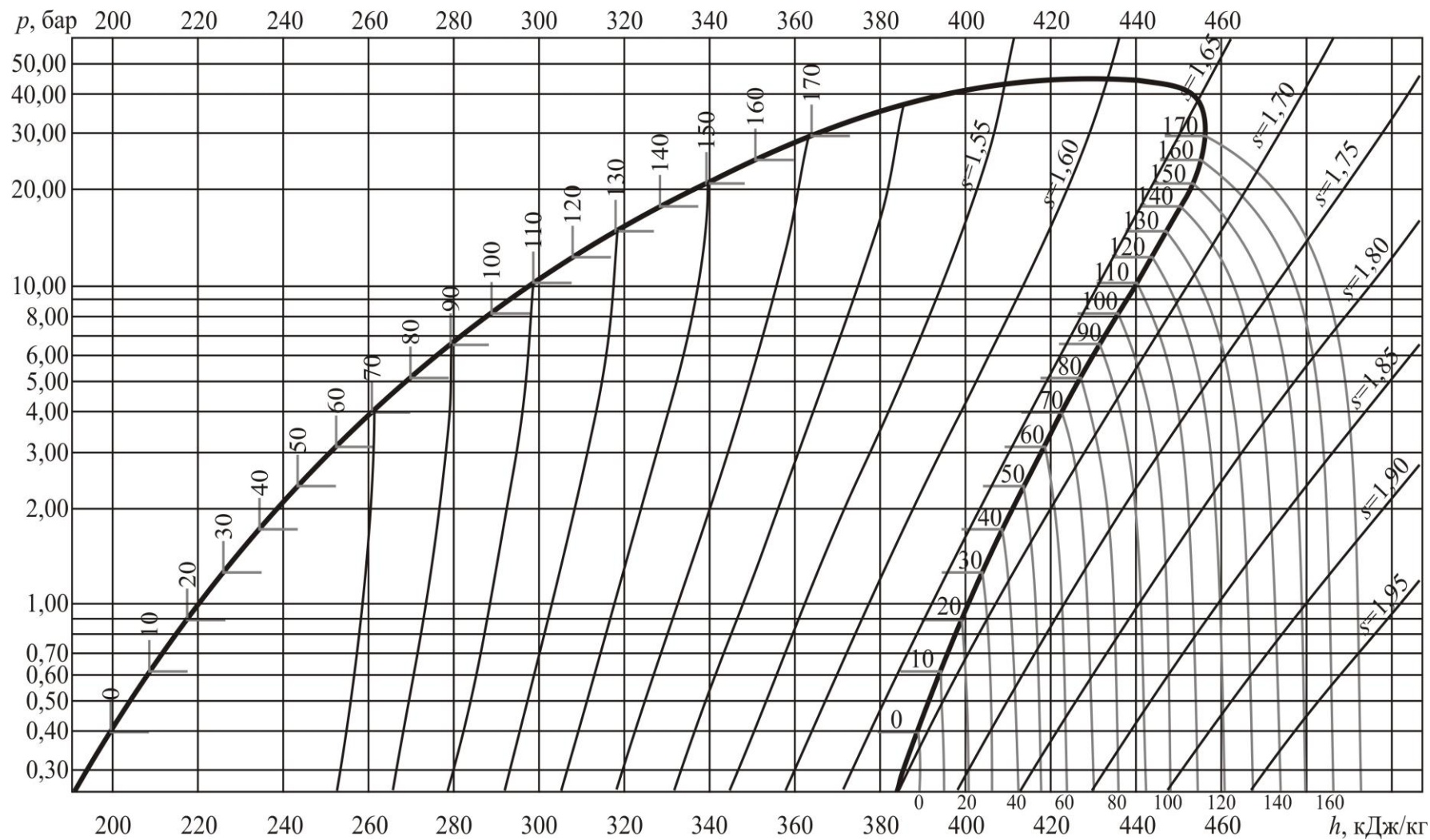
- электрическую мощность турбины, работающей на хладоне – $N_3^{хт}$ и суммарную мощность ГеоТЭС с учетом затрат энергии на насос, закачивающий геотермальную воду в скважину;
- расходы рабочих тел на обе турбины;
- расход геотермальной воды из скважины;
- КПД ГеоТЭС.

Исходные данные взять из таблицы 3 по вариантам.

Таблица 3

Исходные данные для задачи № 3

Вариант	$N_3^{\text{ит}}$, МВт	$p_{\text{гв}}$, МПа	$t_{\text{гв}}$, °С	p_p , МПа	$\Delta t_{\text{в}}^{\text{н}}$, °С	$t_{\text{хв}}$, °С
1	1	15	160	0,25	40	5
2	2	16	165	0,26	50	6
3	2,5	17	170	0,27	60	7
4	3	18	165	0,28	45	8
5	3,5	19	160	0,29	55	9
6	3,0	20	155	0,30	65	10
7	2,5	21	150	0,20	42	6
8	2	22	155	0,21	43	7
9	1,5	23	170	0,22	45	8
10	3,0	24	160	0,23	48	9
11	2,5	25	170	0,31	47	5
12	2	26	160	0,24	49	6
13	1,5	27	155	0,26	59	7
14	2	28	150	0,28	60	10
15	2,5	29	155	0,22	54	9
16	3	30	170	0,21	56	5
17	2,5	20	150	0,23	58	6
18	3	19	170	0,27	57	10
19	3,5	18	140	0,22	52	8
20	3,0	17	165	0,23	58	9
21	2,5	16	150	0,31	55	5
22	2	15	160	0,24	65	6
23	1,5	14	155	0,26	42	7
24	2	13	150	0,28	43	10
25	2,5	12	155	0,22	45	9
26	3	11	145	0,21	48	5
27	2,5	10	150	0,23	47	6
28	3	15	145	0,27	57	10
29	3,5	18	150	0,22	47	8
30	3,0	17	165	0,23	49	9
31	4	19	140	0,31	59	9
32	4,5	12	145	0,24	60	5
33	5	14	150	0,26	54	6
34	5,5	15	155	0,28	56	10
35	6	21	160	0,32	58	8
36	6,5	23	165	0,21	57	9
37	7	15	170	0,33	52	5
38	7,5	17	155	0,27	58	6
39	8	20	160	0,32	60	7

Рис. 4. $\lg p-h$ диаграмма хладона R11

Методические указания к задаче № 3

1. Изобразим принципиальную схему геотермальной станции бинарного типа (рис. 5).

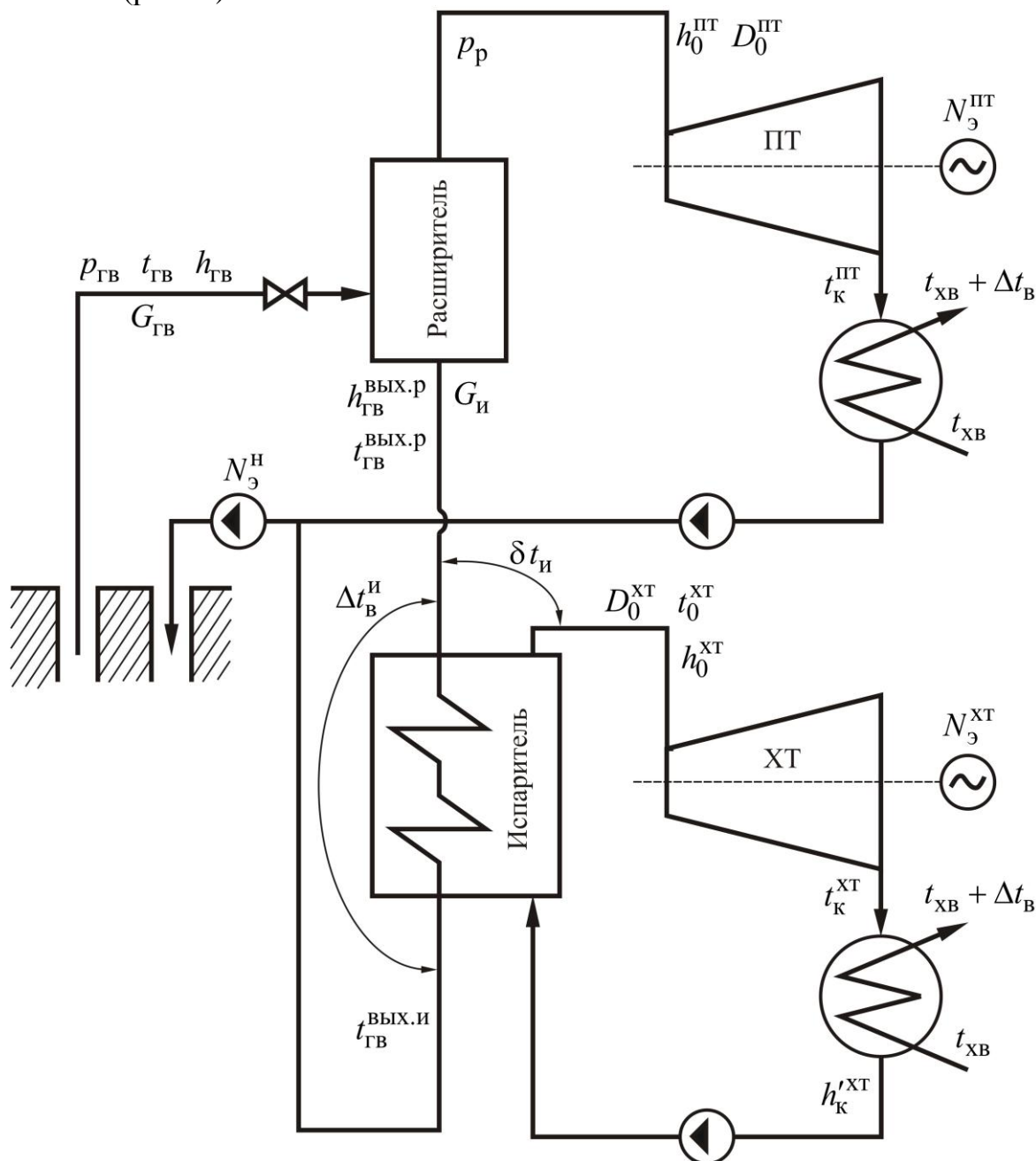


Рис.5. Принципиальная схема геотермальной станции бинарного типа

2. Расчет схемы паровой турбины, работающей на сухом насыщенном водяном паре

2.1. Температура пара на входе в конденсатор турбины:

$$t_k^{\text{пт}} = t_{\text{хв}} + \Delta t_{\text{в}} + \delta t_{\text{к}}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где

$t_{\text{хв}}$ – температура охлаждающей воды на входе в конденсатор;

$\Delta t_{\text{в}}$ – нагрев воды в конденсаторе;

$\delta t_{\text{к}}$ – температурный напор в конденсаторе.

2.2. Давление пара в конденсаторе турбины определяется по таблицам свойств воды и водяного пара:

$$p_{\text{к}} = f(t_{\text{к}}^{\text{пт}}), \text{ МПа.}$$

2.3. Располагаемый теплоперепад на турбину:

$$H_0^{\text{пт}} = h_0^{\text{пт}} - h_{\text{кт}}^{\text{пт}}, \text{ кДж/кг},$$

где

$h_0^{\text{пт}}$ – энтальпия сухого насыщенного пара на входе в турбину.

Определяется по таблицам свойств воды и водяного пара как энтальпия сухого насыщенного пара: $h_0^{\text{пт}} = f(p_{\text{п}})$;

$h_{\text{кт}}^{\text{пт}}$ – энтальпия в конце теоретического процесса расширения пара в турбине. Определяется по $h-s$ диаграмме воды и водяного пара: $h_{\text{кт}}^{\text{пт}} = f(p_{\text{к}}, s_0)$. Здесь $p_{\text{к}}$ – давление пара в конденсаторе, s_0 – энтропия в начальной точке процесса расширения;

2.4. Расход пара из расширителя на паровую турбину:

$$D_0^{\text{пт}} = \frac{N_{\text{э}}^{\text{пт}}}{H_0^{\text{пт}} \cdot \eta_{oi}^{\text{пт}} \cdot \eta_{\text{эм}}}, \text{ кг/с},$$

где

$\eta_{oi}^{\text{пт}}$ – относительный внутренний КПД паровой турбины;

$\eta_{\text{эм}}$ – электромеханический КПД турбогенераторов.

3. Расчет расширителя геотермальной воды

3.1. Уравнение теплового баланса расширителя (см. рис. 5):

$$G_{\text{гв}} \cdot h_{\text{гв}} = D_0^{\text{пт}} \cdot h_0^{\text{пт}} + G_{\text{и}} \cdot h_{\text{гв}}^{\text{вых.р}},$$

где

$G_{\text{гв}}$ – расход геотермальной воды из скважины;

$h_{\text{гв}}$ – энтальпия геотермальной воды из скважины: $h_{\text{гв}} = f(p_{\text{гв}}, t_{\text{гв}})$;

$G_{\text{и}}$ – расход воды из расширителя в испаритель;

$h_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}}$ – энтальпия геотермальной воды на выходе из расширителя. Определяется по таблицам свойств воды и водяного пара как энтальпия кипящей воды: $h_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} = f(p_p)$.

3.2. Уравнение материального баланса расширителя (см. рис. 5):

$$G_{\text{ГВ}} = D_0^{\text{ИТ}} + G_{\text{И}}.$$

Решая совместно эти два уравнения необходимо определить $G_{\text{ГВ}}$ и $G_{\text{И}}$.

3.3. Температура геотермальной воды на выходе из расширителя определяется по таблицам свойств воды и водяного пара как температура насыщения при давлении в расширителе:

$$t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} = f(p_p).$$

4. Определение параметров в характерных точках тепловой схемы турбины, работающей на хладоне

4.1. Температура паров хладона на входе в турбину:

$$t_0^{\text{ХТ}} = t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} - \delta t_{\text{И}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.2. Температура паров хладона на выходе из турбины:

$$t_{\text{К}}^{\text{ХТ}} = t_{\text{ХВ}} + \Delta t_{\text{В}} + \delta t_{\text{К}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.3. Энтальпия паров хладона на входе в турбину определяется по $p-h$ диаграмме для хладона (рис. 4) на линии насыщения при $t_0^{\text{ХТ}}$:

$$h_0^{\text{ХТ}} = f(t_0^{\text{ХТ}}), \text{ кДж/кг}.$$

4.4. Энтальпия паров хладона на выходе из турбины определяется по $p-h$ диаграмме для хладона (рис. 4) на пересечении линий $s_0^{\text{ХТ}} = \text{const}$ и линии температуры $t_{\text{К}}^{\text{ХТ}}$:

$$h_{\text{Кт}}^{\text{ХТ}} = f(t_{\text{К}}^{\text{ХТ}}, s_0^{\text{ХТ}}), \text{ кДж/кг}.$$

4.5. Энтальпия кипящего хладона на выходе из конденсатора определяется по $p-h$ диаграмме для хладона (рис. 4) на кривой для кипящей жидкости по температуре $t_{\text{К}}^{\text{ХТ}}$:

$$h_{\text{К}}^{\text{ХТ}} = f(t_{\text{К}}^{\text{ХТ}}), \text{ кДж/кг}.$$

5. Расчет испарителя

5.1. Температура геотермальной воды на выходе из испарителя:

$$t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.И}} = t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} - \Delta t_{\text{В}}^{\text{И}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5.2. Уравнение теплового баланса испарителя:

$$G_{\text{и}} \cdot c_p \cdot (t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} - t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.И}}) = D_0^{\text{ХТ}} \cdot (h_0^{\text{ХТ}} - h_{\text{к}}^{\text{ХТ}}),$$

где

c_p – теплоемкость воды. Принять $c_p = 4,2$ кДж/кг.

Из этого уравнения необходимо определить $D_0^{\text{ХТ}}$.

6. Расчет мощности турбины, работающей на хладоне:

$$N_9^{\text{ХТ}} = D_0^{\text{ХТ}} \cdot (h_0^{\text{ХТ}} - h_{\text{кт}}^{\text{ХТ}}) \cdot \eta_{oi}^{\text{ХТ}} \cdot \eta_{эм}, \text{ МВт},$$

где

$\eta_{oi}^{\text{ХТ}}$ – относительный внутренний КПД хладоновой турбины;

$\eta_{эм}$ – электромеханический КПД турбогенераторов.

7. Определение мощности насоса для закачки геотермальной воды в скважину:

$$N_9^{\text{Н}} = G_{\text{ГВ}} \cdot \Delta h_{\text{н}} = G_{\text{ГВ}} \cdot \frac{(1,1 \cdot p_{\text{ГВ}} - p_p)}{\eta_{\text{н}}} \cdot v_{\text{ГВ}}, \text{ МВт},$$

где

$\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса, принимается $\eta_{\text{н}} = 0,8$;

$v_{\text{ГВ}}$ – средний удельный объем геотермальной воды. Определяется по таблицам свойств воды и водяного пара как объем кипящей воды при давлении в расширителе $v_{\text{ГВ}} = f(p_p)$.

8. Электрическая мощность ГеоТЭС:

$$N_9^{\text{ГеоТЭС}} = N_9^{\text{ХТ}} + N_9^{\text{ПТ}} - N_9^{\text{Н}}, \text{ МВт}.$$

11. КПД ГеоТЭС:

$$\eta_{\text{ГеоТЭС}} = \frac{N_9^{\text{ГеоТЭС}}}{Q_{\text{ГВ}}} = \frac{N_9^{\text{ГеоТЭС}}}{G_{\text{ГВ}} \cdot c_p \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.И}})}$$

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Литература обязательная

1. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев А.С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009.- 294 с.

2. Губин В.Е., Косяков С.А. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии в энергетике. – Томск: НТЛ, 2002.- 252 с.

3. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – СПб.: СЗТУ, 2003. – 80 с.