

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Сибирский государственный индустриальный университет»

Кафедра теплоэнергетики и экологии

## **НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Методические указания  
по выполнению самостоятельной работы

Новокузнецк  
2022

УДК XXXXXXXXXXXXXXXX  
XXXX

Составители:

Соловьёв Александр Кронидович  
Медведская Елена Васильевна

Рецензент

доцент кафедры металлургии черных металлов СибГИУ  
Н.А. Чернышева

XXXX Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : методические указания / М-во науки и высш. образования Российской Федерации, Сиб. гос. индустр. ун-т, Каф. теплоэнергетики и экологии ; сост. : А.К. Соловьёв, Е.В. Медведская. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – URL: <http://library.sibsiu.ru>. – Текст : электронный.

Указаны цели и задачи освоения дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», содержат задания для самостоятельной (контрольной) работы и ряд вариантов исходных данных, обеспечивающих индивидуальное выполнение задания каждым обучающимся, а также контрольные вопросы для защиты самостоятельной работы и библиографический список.

Предназначены для обучающихся заочной формы обучения по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль подготовки «Промышленная теплоэнергетика».

Публикуется по решению комиссии по совершенствованию учебно-методической работы при Совете Института металлургии и материаловедения (протокол № 70 от 09.09.2022).

Издано в полном соответствии с авторским оригиналом

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	5
2 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ. 6	
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ.....	7
3.1 Задание №1. Расчет солнечной электростанции башенного типа .....	7
3.2 Методические указания к заданию № 1.....	11
3.3 Задание №2. Расчет системы солнечного теплоснабжения здания .....	14
3.4 Методические указания к заданию № 2.....	17
3.5 Задание № 3. Типа тепловой схемы геотермальной электростанции бинарного типа .....	19
3.6 Методические указания к заданию № 3.....	21
4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	25
5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНИВАНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	25
Библиографический список.....	27
ПРИЛОЖЕНИЕ А Форма титульного листа контрольной работы.....	28

## Предисловие

Сегодня вопросы энергосбережения и экологии вышли на первый план и требуют незамедлительных решений. Для успешной работы выпускникам по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника следует уметь правильно анализировать природные и экономические условия и технические возможности для использования энергосберегающих технологий, к которым относится также использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. А для этого необходимо иметь теоретическую базу и знать типовые методики расчетов.

В требованиях к освоению общеобразовательной программы для обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника приоритетное внимание уделяется формированию общих и профессиональных компетенций, характеризующих будущую профессиональную деятельность выпускников. Образовательной технологией, поддерживающей компетентностно - ориентированный подход в образовании, является организация самостоятельной работы. Содержат задания для самостоятельной (контрольной) работы и ряд вариантов исходных данных, обеспечивающих индивидуальное выполнение задания каждым обучающимся, а также контрольные вопросы для защиты самостоятельной работы и библиографический список.

Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся составлены в соответствии с содержанием рабочей программы "Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии" и предназначены для обучающихся заочной формы обучения по направления подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника.

## 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Ограниченные запасы жидкого и газового топлива в ближайшие десятилетия будут истощаться, топливная составляющая себестоимости электрической и тепловой энергии будет возрастать. Себестоимость энергии, получаемой на возобновляемых и нетрадиционных энергоисточниках, наоборот, снижается с накоплением опыта и совершенствованием новых установок. Уже сейчас возможно приближение ее к себестоимости энергии традиционных ТЭС и АЭС.

Дисциплина "Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии", наряду с другими специальными дисциплинами, указанными в учебном плане, дает комплекс знаний, являющийся основой деятельности обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника., работа которых неразрывно связана с ТЭС и АЭС, применяют знания по нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии для сопоставлений и оценки альтернативных и конкурентных путей энергоснабжения в обществе.

Целью изучения дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» является формирование у обучающихся знаний в области перспектив развития и имеющегося мирового и отечественного опыта освоения источников энергии, альтернативных по отношению к традиционным, применяемым в тепловой и атомной энергетике.

Задачи дисциплины – изучение основных возобновляемых энергоресурсов, основных принципов их использования, конструкций и режимов работы соответствующих энергоустановок, мирового и отечественного опыта их эксплуатации, перспектив развития энергетики на нетрадиционных и возобновляемых энергоисточниках.

Изучение дисциплины обеспечивает реализацию требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриат).

Процесс изучения учебной дисциплины направлен на формирование следующей общепрофессиональных компетенций:

ОПК-1 – Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;

ОПК-3 – Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Дисциплина «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» представляет собой базу для изучения дисциплин: «Котельные установки и парогенераторы», «Экологические проблемы энергетических предприятий», а также при выполнении выпускных квалификационных работ.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельную работу (домашнюю работу) обучающихся, консультации.

## 2 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Своеобразной формой организации самостоятельной работы обучающихся являются самостоятельные занятия обучающихся по выполнению домашних работ. Они представляют собой логическое продолжение аудиторных занятий, проводятся по заданию преподавателя, который инструктирует обучающихся и устанавливает сроки выполнения задания.

В отличие от других форм организации учебного процесса затраты времени на выполнение этой работы не регламентируются расписанием. Режим и продолжительность работы выбирает сам обучающийся. Домашняя учебная работа – это самостоятельная учебная деятельность обучающихся, дополняющая занятие и являющаяся частью цикла обучения. Ее особые функции состоят в развитии умений самостоятельно учиться, определять задачи и средства работы, планировать учение. Главное назначение ее состоит в закреплении знаний и умений, полученных на занятии, отработке навыков, усвоении нового материала.

Самостоятельная работа состоит из трех задач. Перечень тем самостоятельной работы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень тем самостоятельной работы

№ темы дисциплины	Тема самостоятельной работы
Раздел 4. Солнечная энергия	Задача №1. Расчёт солнечной электростанции башенного типа. Задача №2. Расчет системы солнечного теплоснабжения здания.
Раздел 5. Геотермальная энергия	Задача №3. Расчёт тепловой схемы геотермальной электростанции бинарного типа.

При решении задач необходимо строго придерживаться своего варианта, номер которого совпадает с двумя последними цифрами шифра в зачетной книжке студента.

Решение задач, требующие привлечение диаграмм, схем, графиков, должны быть проиллюстрированы соответствующими рисунками с пояснениями для всех изображенных на них элементов.

Формулы должны быть снабжены ссылками на использованную литературу и пояснениями всех используемых в них обозначений. В решениях задач необходимо придерживаться международной системы единиц (С И).

### 3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

#### 3.1 Задание №1. Расчет солнечной электростанции башенного типа

На солнечной электростанции башенного типа установлено  $n$  гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность  $F_{гм2}$ . Коэффициент отражения гелиостата  $\rho_{отр}$ . Максимальная облученность зеркала гелиостата  $E_{г}$ .

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  $N_э$ , работающую по циклу Ренкина. Давление пара за турбиной составляет  $p_k$ . Относительный внутренний КПД турбины  $\eta_{oi}$ . Механический КПД  $\eta_m = 0,975$ . КПД электрогенератора  $\eta_э = 0,985$ . Работой насоса, потерями тепла при его транспортировке, собственными нуждами – пренебречь.

**Определить:**

- расход пара на турбину  $D_0$ , кг/с;
- площадь поверхности приемника  $F_{при}$  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, $F_{\Gamma}, \text{м}^2$	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, $E_{\Gamma}, \text{Вт/м}^2$	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{пр}, \text{МВт/м}^2$	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	2,5	2,0	1,9	2,1	1,9
Коэффициент поглощения приемника, $A_{полг}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,95	0,96	0,97	0,95	0,95
Степень черноты, $\varepsilon_{пр}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,97	0,94	0,94	0,93	0,95	0,94
Начальная температура, $t_0, ^\circ\text{C}$	590	580	570	600	545	550	555	535	565	585
Начальное давление $p_0, \text{МПа}$	10	11	12	13	14	13,5	13,7	12,5	11,2	10,6
Мощность СЭС, $N_{э}, \text{МВт}$	1,05	3	1,1	5	2	1,2	4,0	1,0	5,5	4,0
Конечное давление пара, $p_{к}, \text{кПа}$	4,5	5	5,5	6	6,5	3	3,5	4,2	4,3	4,4
Относительный внутренний КПД турбины, $\eta_{oi}$	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84



Продолжение таблицы 1

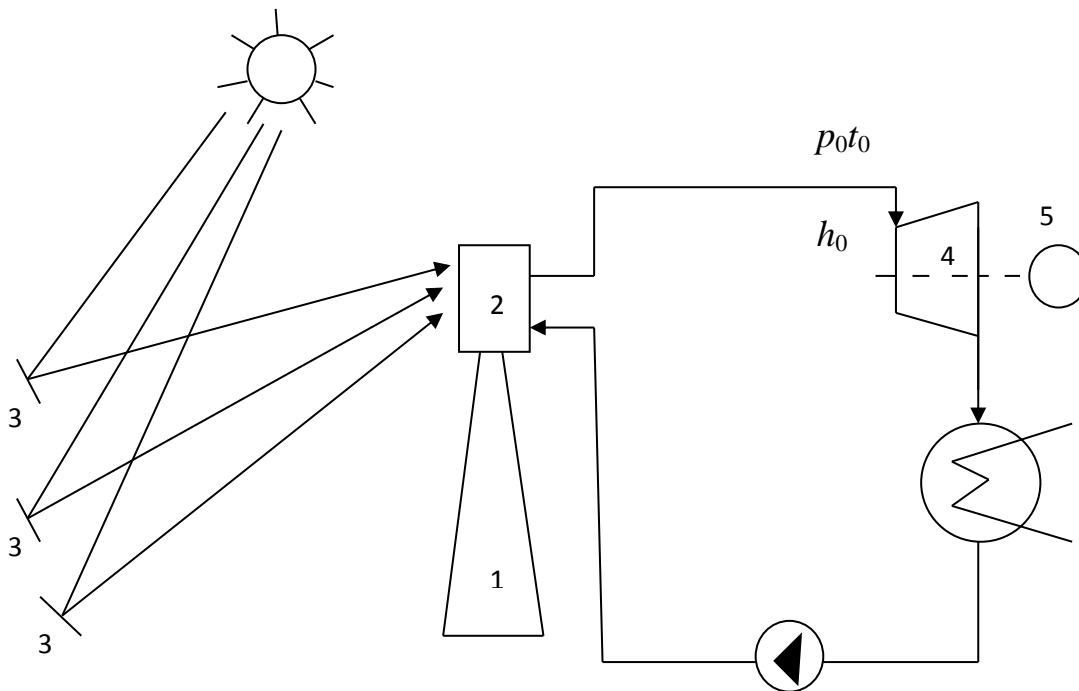
Величина	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Поверхность гелиостата, $F_{\Gamma}, \text{м}^2$	54	51	68	65	62	69	66	63	60	67
Коэффициент отражения гелиостата, $R_{отр}$	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82
Максимальная облученность зеркала гелиостата, $E_{\Gamma}, \text{Вт/м}^2$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

Окончание таблицы 1

Величина	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Поверхность гелиостата, $F_{г}, \text{м}^2$	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, $E_{г}, \text{Вт/м}^2$	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{пр}, \text{МВт/м}^2$	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	2,54	2,0	1,9	2,15	1,95
Коэффициент поглощения приемника, $A_{полг}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,93	0,95	0,96	0,94	0,95
Степень черноты, $\varepsilon_{пр}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,96	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94
Начальная температура, $t_0, ^\circ\text{C}$	590	580	570	600	545	550	555	535	565	585
Начальное давление $p_0, \text{МПа}$	9	12,5	11,5	13,5	14,5	12,7	11,7	14,5	16,2	12,6
Мощность СЭС, $N_э, \text{МВт}$	4,5	3	2,5	1,55	4,2	3,2	2,5	2,0	5,5	4,0
Конечное давление пара, $p_k, \text{кПа}$	4,5	5	5,5	6	6,5	3	3,5	4,2	4,3	4,4
Относительный внутренний КПД турбины, $\eta_{oi}$	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84

### 3.2 Методические указания к заданию № 1

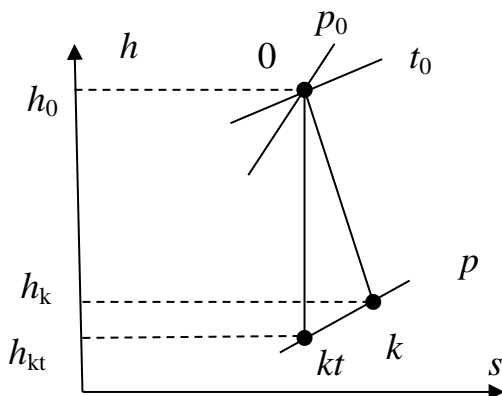
1. Изобразим схематично солнечную электростанцию башенного типа (рисунок 1).



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

Рисунок 1 – Схема солнечной электростанции башенного типа:

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



0 – kt – теоретический процесс; 0 – k – действительный процесс.

3. Теоретический (располагаемый) теплоперепад турбины:

Рисунок 2 – Процесс расширения пара в турбине в  $h-s$  диаграмме:

$$H_0 = h_0 - h_{kt}, \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

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:

$$H_i = H_0 \cdot \eta_{oi}, \text{ кДж/кг.} \quad (2)$$

где

$\eta_{oi}$  - относительный внутренний КПД турбины, известен по заданию.

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

$$h_k = h_0 - H_i, \text{ кДж/кг.} \quad (3)$$

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:

$$D_0 = \frac{1000 \cdot N_3}{H_i \cdot \eta_m \cdot \eta_g}, \text{ кг/с.} \quad (4)$$

8. Расход тепла на турбоустановку:

$$Q_{\text{ТУ}} = D_0 \cdot (h_0 - h'_k), \text{ кВт.} \quad (5)$$

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

$$q_{\text{изл}} = c_0 \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{T_0}{100}\right)^4, \text{ Вт/м}^2, \quad (6)$$

где

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

10. Из условия известно, что:

$$q_{\text{конв}} = 0,5 \cdot q.$$

Тогда:

$$\Delta q_{\text{пот}} = q_{\text{изл}} + q_{\text{конв}} = 1,5 \cdot q_{\text{изл}}. \quad (7)$$

11. Полная величина тепловых потерь приемника определяется по формуле:

$$\Delta Q_{\text{пот}} = \Delta q_{\text{пот}} \cdot F_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где

$F_{\text{пр}}$  – площадь поверхности приемника. Задаем эту величину в диапазоне  $1 \div 7 \text{ м}^2$ .

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

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{ту}} + \Delta Q_{\text{пот}}, \quad (9)$$

13. Площадь поверхности приемника:

$$F'_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}}, \text{ м}^2, \quad (10)$$

где

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

14. Погрешность вычислений:

$$\varepsilon = \left| \frac{F'_{\text{пр}} - F_{\text{пр}}}{F'_{\text{пр}}} \right| \cdot 100 \leq 1\%. \quad (11)$$

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:

$$Q_{\text{пр}} = E_{\text{г}} \cdot n \cdot F_{\text{г}} \cdot R_{\text{отр}} \cdot A_{\text{погл}}. \quad (12)$$

Тогда, количество гелиостатов:

$$n = \frac{Q_{\text{пр}}}{E_{\text{г}} \cdot F_{\text{г}} \cdot R_{\text{отр}} \cdot A_{\text{погл}}} \quad (13)$$

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

$$N_{\Phi}^{\Phi} = E_{\Gamma} \cdot n \cdot F_{\Gamma} \cdot \eta_{\Phi\Phi}. \quad (14)$$

### 3.3 Задание №2. Расчет системы солнечного теплоснабжения здания

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

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

**Определить:**

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

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 $\eta_{пр}$	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 <sup>2</sup>	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 <sub>1</sub>	45	53	45	55	54	56	49	55	50	36
Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{т.сн}$ , кВт	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Период освещения приемника, $\tau_{осв}$ , час	5	6	4	6	7	5	6	7	5	4

Окончание таблица 2

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 <sup>2</sup>	450	475	480	485	490	400	410	420	515	505
Температура воды на входе, $t_{в1}$ , °C	35	44	24	41	34	41	38	21	19	18
Температура воды на выходе, $t_{в2}$ , °C <sub>1</sub>	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 <sup>2</sup>	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Температура воды на входе, $t_{в1}$ , °C	32	45	27	40	30	45	37	25	30	19
Температура воды на выходе, $t_{в2}$ , °C <sub>1</sub>	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



### 3.4 Методические указания к заданию № 2

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

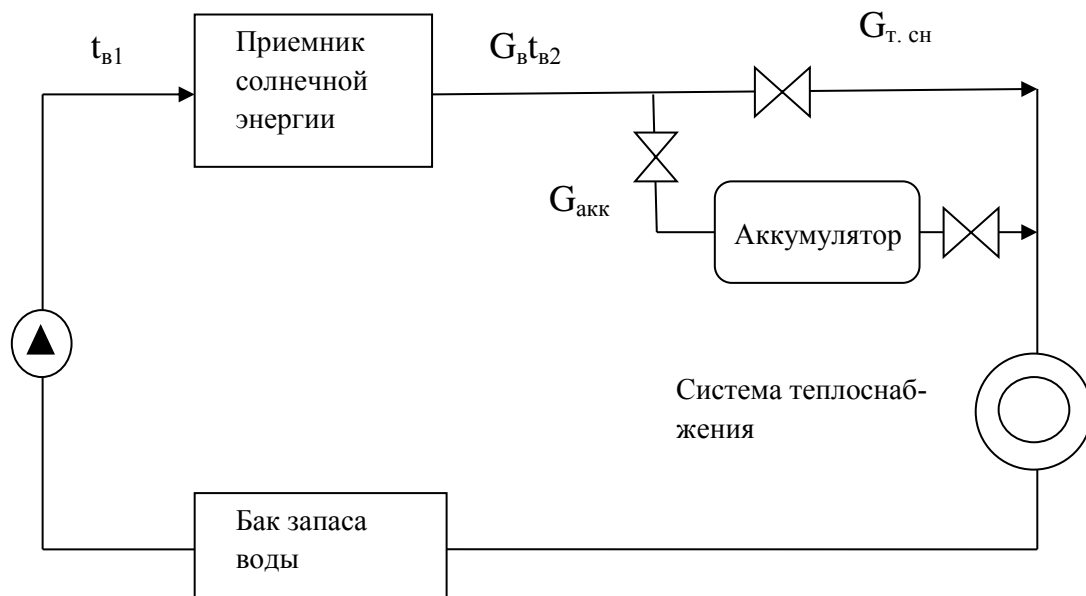


Рисунок 3 – Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения здания

2. Суточное потребление тепла системой теплоснабжения определяется по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{\text{Т.СН}}, \text{Дж}, \quad (1)$$

где

24 – количество часов в сутки;

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:

$$Q_{\text{пр}} = E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot F \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600, \text{Дж}, \quad (2)$$

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

$$24 \cdot Q_{\text{т.сн}} = E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot F \cdot \tau_{\text{осв}}. \quad (3)$$

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

$$F = \frac{24 \cdot Q_{\text{т.сн}}}{E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{осв}}}, \text{ м}^2 \quad (4)$$

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

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600} = \frac{24 \cdot Q_{\text{т.сн}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) \cdot \tau_{\text{осв}}}, \text{ кг/с}, \quad (5)$$

где

$c_p = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$  - 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:

$$G_{\text{т.сн}} = \frac{Q_{\text{т.сн}}}{c_p \cdot (t_{\text{в1}} - t_{\text{в2}})}, \text{ кг/с} \quad (6)$$

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

$$G_{\text{акк}} = G_{\text{в}} - G_{\text{т.сн}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (7)$$

9. Емкость аккумулятора можно определить по формуле:

$$V = G_{\text{акк}} \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot \frac{1}{\rho}, \text{ м}^3. \quad (8)$$

где

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

### 3.5 Задание № 3. Типа тепловой схемы геотермальной электростанции бинарного типа

Геотермальная электростанция состоит из двух турбин:

- первая работает на насыщенном водяном паре, полученном в расширителе. Электрическая мощность -  $N_э^{пт}$ ;
- 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  $p_r$ . Этот пар направляется в паровую турбину. Оставшаяся вода из расширителя идёт в испаритель, где охлаждается на  $\Delta t_v^и$  и закачивается обратно в скважину. Температурный напор в испарительной установке  $\delta t_i = 20^\circ\text{C}$ . Рабочие тела расширяются в турбинах и поступают в конденсаторы, где охлаждаются водой из реки с температурой  $t_{хв}$ . Нагрев воды в конденсаторе  $\Delta t_v = 10^\circ\text{C}$ , а недогрев до температуры насыщения  $\delta t_k = 5^\circ\text{C}$ .

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

**Определить:**

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

Исходные данные взять из таблицы 3 по вариантам.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи 3.

Вариант	$N_9^{\text{пт}}$ , МВт	$p_{\text{ГВ}}$ , МПа	$t_{\text{ГВ}}$ , °C	$p_p$ , МПа	$\Delta t_{\text{Б}}^{\text{н}}$ , °C	$t_{\text{ХВ}}$ , °C
1	1,0	15	160	0,25	40	5
2	2,0	16	165	0,26	50	6
3	2,5	17	170	0,27	60	7
4	3,0	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	2,0	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	2,0	26	160	0,24	49	6
13	1,5	27	155	0,26	59	7
14	2,0	28	150	0,28	60	10
15	2,5	29	155	0,22	54	9
16	3,0	30	170	0,21	56	5
17	2,5	20	150	0,23	58	6
18	3,0	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	2,0	15	160	0,24	65	6
23	1,5	14	155	0,26	42	7
24	2,0	13	150	0,28	43	10
25	2,5	12	155	0,22	45	9
26	3,0	11	145	0,21	48	5
27	2,5	10	150	0,23	47	6
28	3,0	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	4,0	19	140	0,31	59	9
32	4,5	12	145	0,24	60	5
33	5,0	14	150	0,26	54	6
34	5,5	15	155	0,28	56	10
35	6,0	21	160	0,32	58	8
36	6,5	23	165	0,21	57	9
37	7,0	15	170	0,33	52	5
38	7,5	17	155	0,27	58	6
39	8,0	20	160	0,32	60	7

### 3.6 Методические указания к заданию № 3

1. Изобразим принципиальную схему геотермальной станции бинарного типа (рисунок 4).

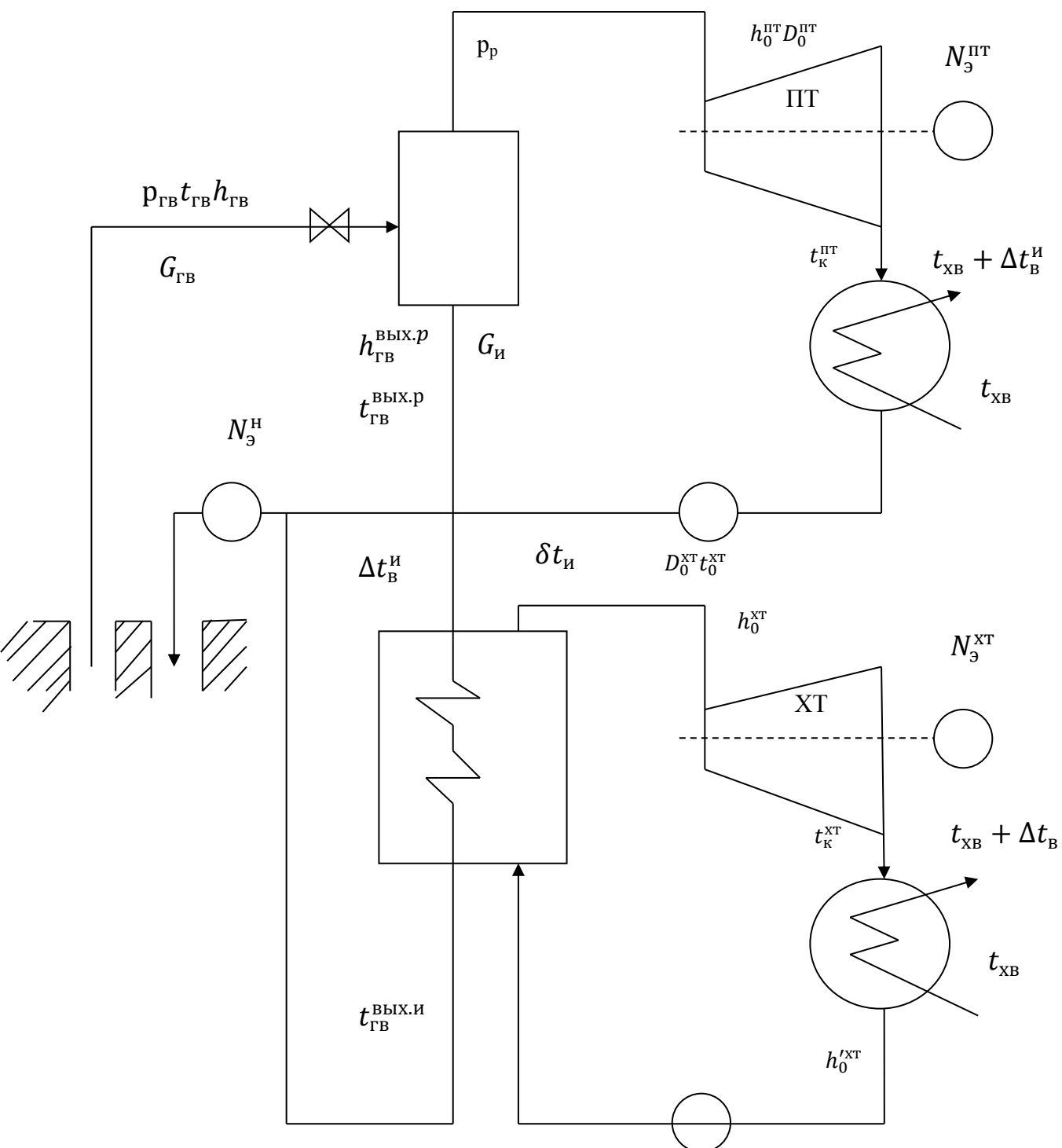


Рисунок 4 – Принципиальная схема геотермальной станции бинарного типа

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

2.1 Температура пара на входе в конденсатор турбины:

$$t_{\text{к}}^{\text{пт}} = t_{\text{хв}} + \Delta t_{\text{в}} + \delta t_{\text{к}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

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:

$$p_{\text{к}} = f(t_{\text{к}}^{\text{пт}}), \text{ Мпа.} \quad (2)$$

2.3. Располагаемый теплоперепад на турбину:

$$H_0^{\text{пт}} = h_0^{\text{пт}} - h_{\text{кт}}^{\text{пт}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (3)$$

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-сдиаграмме 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:

$$D_0^{\text{пт}} = \frac{N_{\text{э}}^{\text{пт}}}{H_0^{\text{пт}} \cdot \eta_{\text{oi}}^{\text{пт}} \cdot \eta_{\text{эм}}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (4)$$

где

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

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

3. Расчет расширителя геотермальной воды

3.1 Уравнение теплового баланса расширителя (см. рисунок 4):

$$G_{\text{гв}} \cdot h_{\text{гв}} = D_0^{\text{пт}} \cdot h_0^{\text{пт}} + G_{\text{и}} \cdot h_{\text{гв}}^{\text{вых.р}}, \quad (5)$$

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:

$$h_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} = f(p_{\text{р}}).$$

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

$$G_{\text{ГВ}} = D_0^{\text{ПТ}} + G_{\text{и}}. \quad (6)$$

Решая совместно эти два уравнения не обходимо 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:

$$t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} = f(p_{\text{р}}). \quad (7)$$

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

4.1 Температура паров хладона на входе в турбину:

$$t_0^{\text{ХТ}} = t_{\text{ГВ}}^{\text{ВЫХ.Р}} - \delta t_{\text{и}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (8)$$

4.2 Температура паров хладона на выходе из турбины:

$$t_{\text{к}}^{\text{ХТ}} = t_{\text{ХВ}} + \Delta t_{\text{в}} + \delta t_{\text{к}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (9)$$

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

$$h_0^{\text{ХТ}} = f(t_0^{\text{ХТ}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (10)$$

4.4 Энтальпия паров хладона на выходе из турбины определяется по р –h диаграмме для хладона (рисунок 5) на пересечении линий  $s_0^{\text{ХТ}} = \text{const}$  и линии температуры  $t_{\text{к}}^{\text{ХТ}}$ :

$$h_{\text{кт}}^{\text{ХТ}} = f(t_{\text{к}}^{\text{ХТ}}, s_0^{\text{ХТ}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (11)$$

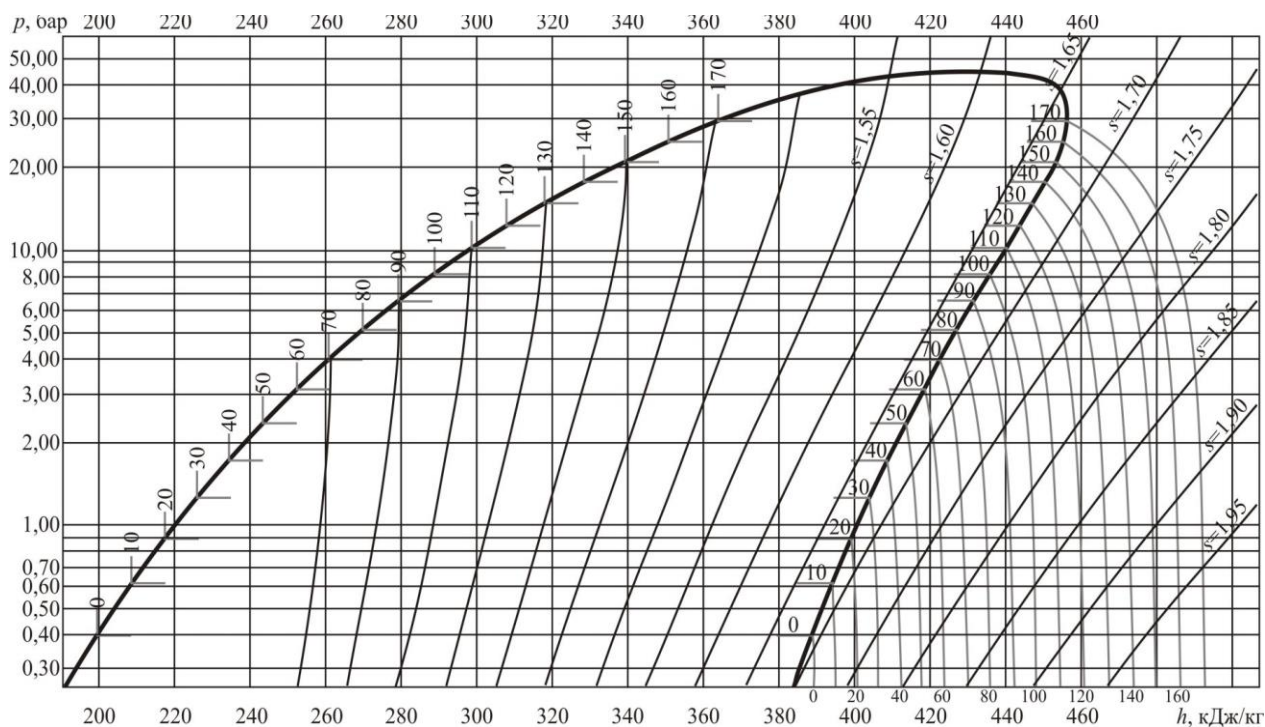


Рисунок 5 – lg p – h диаграмма хладагента R11

4.5 Энтальпия кипящего хладагента на выходе из конденсатора определяется по p – h диаграмме для хладагента (рисунок 4) на кривой для кипящей жидкости по температуре  $t_{\text{к}}^{\text{хт}}$ :

$$h_{\text{к}}^{\text{хт}} = f(t_{\text{к}}^{\text{хт}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (12)$$

## 5. Расчет испарителя

5.1 Температура геотермальной воды на выходе из испарителя:

$$t_{\text{гв}}^{\text{вых.и}} = t_{\text{гв}}^{\text{вых.р}} - \Delta t_{\text{в}}^{\text{и}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (13)$$

5.2. Уравнение теплового баланса испарителя:

$$G_{\text{и}} \times c_{\text{р}} \times (t_{\text{гв}}^{\text{вых.р}} - t_{\text{гв}}^{\text{вых.и}}) = D_0^{\text{хт}} \times (h_0^{\text{хт}} - h_0^{\text{хт}}) \quad (14)$$

где  $c_{\text{р}}$  – теплоемкость воды. Принять  $c_{\text{р}} = 4,2 \text{ кДж/кг}$ .

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

6. Расчет мощности турбины, работающей на хладоне:

$$N_{\text{э}}^{\text{хт}} = D_0^{\text{хт}} \cdot (h_0^{\text{хт}} - h_{\text{кт}}^{\text{хт}}) \cdot \eta_{\text{oi}}^{\text{хт}} \cdot \eta_{\text{эм}}, \text{ МВт}, \quad (15)$$

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

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

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

$$N_{\text{э}}^{\text{н}} = G_{\text{гв}} \cdot \Delta h_{\text{н}} = G_{\text{гв}} \cdot (1,1 \cdot p_{\text{гв}} - p_{\text{р}}) / \eta_{\text{н}} \cdot v_{\text{гв}}, \text{ МВт} \quad (16)$$



где  $\eta_n$  – КПД насоса, принимается ;  $\eta_n = 0,8$ ;

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

8. Электрическая мощность ГеоТЭС:

$$N_9^{\text{ГеоТЭС}} = N_9^{\text{хт}} + N_9^{\text{пт}} - N_9^{\text{н}}, \text{ МВт.} \quad (17)$$

9. КПД ГеоТЭС:

$$\eta_{\text{ГеоТЭС}} = \frac{N_9^{\text{ГеоТЭС}}}{Q_{гв}} = \frac{N_9^{\text{ГеоТЭС}}}{G_{гв} \times c_p \times (t_{гв}^{\text{вых.р}} - t_{гв}^{\text{вых.и}})} \quad (18)$$

## 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую интенсивность имеет солнечное излучение?
2. Как устроены термоэлектрические преобразователи?
3. Как работает солнечная энергетическая установка с фотоэлектрическими преобразователями?
4. Как устроены паротурбинные солнечные электростанции?
5. Что такое гелиостат?
6. Как реализуется солнечное теплоснабжение?
7. Какие регионы России перспективны для освоения геотермальной энергии?
8. Как устроены одноконтурные ГеоТЭС?
9. Как устроены двухконтурные ГеоТЭС?
10. Какие преимущества имеет ГеоТЭС на смешанном теплоносителе?
11. Насколько реально использование океанских тепловых ресурсов?
12. Как реализуется теплоснабжение от геотермальных источников?
13. Какие проблемы тормозят развитие геотермальной энергетики?

## 5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНИВАНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа – это самостоятельная форма учебной деятельности обучающегося, которая осуществляется без непосредственного руководства и контроля со стороны педагогического работника, но по его поручению.

Критерии оценки:

- правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);
- полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);
- сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

- логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный ответ, грамотно пользоваться специальной терминологией);
- рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);
- использование при ответе требований нормативных документов, учебной литературы (обязательное условие);
- использование графических элементов с целью выделения особо значимой информации: таблиц, схем, рисунков и т.п.

#### Критерии оценки домашнего задания

Наименование параметра оценки	Оценка
Обучающийся выполнил задание в полном объёме; полно и аргументировано отвечает по содержанию задания; обнаруживает понимание материала; может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, в том числе самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно.	Отлично
Обучающийся выполнил задание, удовлетворяющее тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает несколько незначительных ошибок.	Хорошо
Обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений задания, но излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке ответа; не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести примеры; излагает материал непоследовательно и допускает ошибки.	Удовлетворительно
Обучающийся обнаруживает незнание ответа на соответствующее задание, допускает ошибки в формулировке определений или ответа в целом, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «неудовлетворительно» отмечает такие недостатки в подготовке обучающегося, которые являются серьезным препятствием к успешному овладению последующим материалом.	Неудовлетворительно

## Библиографический список

1 Сибикин, М. Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М. Ю. Сибикин, Ю. Д. Сибикин. – Москва Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 229 с. – ISBN 978-5-4475-2717-4. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750> (дата обращения: 17.03.2021)

2 Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / сост. И.Ю. Чуенкова. – Ставрополь : СКФУ, 2015. – 148 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457472> (дата обращения: 17.03.2021)

3 Удалов С. Н., Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С. Н. Удалов. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. - ISBN 978-5-7782-2467-4. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778224674.html> (дата обращения: 17.03.2021)

4 Баранов, Н. Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии : учебное пособие / Н. Н. Баранов. – Москва : МЭИ, 2017. – с. – ISBN 978-5-383-01185-0. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011850.html> (дата обращения: 17.03.2021)

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Форма титульного листа контрольной работы  
(обязательное)

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Кафедра теплоэнергетики и экологии

## **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

по дисциплине  
«Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

---

---

(тема)

Обучающийся гр. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.т.н., доцент

(уч. степень, звание)

Соловьев А.К.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

Новокузнецк

20\_\_ г.