

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям по дисциплине
«Использование вторичных и возобновляемых источников энергии»

ПЗ № 1 РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР (тепловых)

Цель: Получение навыков расчета экономии топлива за счёт использования вторичных тепловых энергоресурсов

Теоретическая часть

За счёт тепловых ВЭР возможна выработка теплоты в виде пара или горячей воды в утилизационной установке

$$Q_m = (i_1 \cdot G_1 - i_2 \cdot G_2) \cdot \beta \cdot (1 - \xi),$$

или холода

$$Q_X = Q_m \cdot \varepsilon,$$

где G_1, G_2 – количество энергоносителя на входе в утилизационную установку и на выходе из неё; i_1, i_2 – энтальпия энергоносителя на входе в утилизационную установку и на выходе из неё; β – коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и агрегата – источника ВЭР; ξ – коэффициент потерь тепла в утилизационной установке; ε – холодильный коэффициент холодильной машины.

Экономия топлива при этом составит:

$$B_{ЭК} = Q_m / Q_y^P$$

При силовом использовании ВЭР:

$$B_{ЭК} = \nu \cdot m \cdot M \cdot L_{\max} \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_g = \nu \cdot W,$$

где ν – удельный расход топлива на выработку электроэнергии; $L_{\max}$ – техническая работа адиабатного расширения в утилизационной турбине; η_{oi} – относительный внутренний КПД турбины; η_m – механический КПД; η_g – КПД электрогенератора; W – возможная выработка электроэнергии в утилизационной установке за счёт ВЭР.

Вопросы и задания Пример решения задачи

Исходные данные для экономического расчета:

1. Теплота, полученная в утилизационной установке $\Delta Q_{ВЭР} = 500$ кВт;
2. Действительный фонд времени работы утилизационного оборудования - 6000ч;
3. Цена 1 тонны условного топлива $C = 95$ у.е.,
4. Капиталовложения в утилизационное оборудование $K = 40000$ у.е.;
5. Эксплуатационные расходы $C_{экс} = 5000$ у.е.

Решение:

Экономия условного топлива за счет утилизации ВЭР

$$\Delta B_{\text{усл}} = \Delta Q_{ВЭР} / Q_y^P = \frac{500}{29300} = 0,017 \text{ кг} / \text{с}$$

Годовая стоимость сэкономленного топлива

$$\mathcal{E}_{\text{топ}}^{\text{усл}} = 3600 \Delta B_{\text{усл}} \tau_{\text{д}} C = 3600 \cdot 0,017 \cdot 6000 \cdot 10^{-3} = 34884 \text{ (у.е.)}$$

Удельная стоимость энергии, выработанной в утилизационной установке

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \mathcal{E}_{\text{мон}}^{\text{усл}} / \Delta Q_{\text{ВЭР}}^{\text{зод}} = \frac{34884}{108 \cdot 10^8} = 0,323 \cdot 10^{-5} \text{ у.е. / кДж}$$

Стоимость сэкономленной энергии

$$\mathcal{E} = 3600 \Delta Q_{\text{ВЭР}} \cdot \tau_{\text{д}} \cdot \mathcal{E}_{\text{уд}} = 3600 \cdot 6000 \cdot 0,3238 \cdot 10^{-5} = 34884, (\text{у.е.})$$

Экономический эффект от использования ВЭР

$$\mathcal{E}_{\text{ут}} = \mathcal{E} - E_{\text{н}} \cdot K = 34884 - 0,15 \cdot 40000 = 28884, (\text{у.е.}).$$

Срок окупаемости капиталовложений в утилизацию ВЭР

$$T = K / (\Delta \mathcal{E} - C_{\text{эк}}) = 40000 / (34884 - 5000) = 1,34 (\text{года})$$

Использование ВЭР является целесообразным так как величина ($\mathcal{E}_{\text{ут}} > 0$) положительна и капиталовложения окупаются за достаточно короткий период.

Задание 1. Исходные данные для экономического расчета:

1. Теплота, полученная в утилизационной установке $DQ_{\text{ВЭР}} = 700 \text{ кВт}$;
2. Действительный фонд времени работы утилизационного оборудования - 7000ч;
3. Цена 1 тонны условного топлива $C = 95 \text{ у.е.}$,
4. Капиталовложения в утилизационное оборудование $K = 50000 \text{ у.е.}$;
5. Эксплуатационные расходы $C_{\text{эк}} = 6000 \text{ у.е.}$

Задание 2. Определить выход используемых тепловых ВЭР и экономию условного топлива в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов промышленной печи, если энтальпия газов на выходе из печи $h_1 = 15000 + 400 \cdot N \text{ кДж/м}^3$, на выходе из котла утилизатора $h_2 = 6130 \text{ кДж/м}^3$, расчетный расход уходящих газов промышленной печи $B_p = 0,036 + 0,006 \cdot N \text{ м}^3/\text{с}$. Коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы котла утилизатора и печи 0,9. Коэффициент потерь теплоты котла-утилизатора в окружающую среду 0,15, коэффициент использования теплоты ВЭР 0,75. КПД замещаемой котельной установки $\eta_3 = 0,88$.

Вопросы

1. Классификация ВЭР
2. Источники ВЭР
3. Использование ВИЭ. Основные понятия.
4. Принципы использования ВИЭ

ПЗ № 2 РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР (давления)

Цель: Получение навыков расчета экономии топлива за счёт использования вторичных энергоресурсов

Теоретическая часть

При топливном направлении использования ВЭР экономия топлива $B_{ЭК}$ (т.у.т.) составит:

$$B_{ЭК} = \frac{m \cdot M \cdot Q_H^P \cdot \eta_y \cdot \sigma}{Q_y^P} \cdot 10^{-3},$$

где m – выход ВЭР на единицу продукции, кг/кг ($\text{м}^3/\text{кг}$); M – выход основной продукции за данный период, кг; Q_H^P, Q_y^P – теплотворная способность ВЭР и условного топлива, кДж/кг (кДж/м³); η_y – КПД утилизационной установки; σ – коэффициент использования теплоты, вырабатываемой в утилизационной установке.

Вопросы и задания

Задание 1. Определить экономию условного топлива в течение года на мебельной фабрике при использовании горючих ВЭР в котле за счет теплоты горения древесных отходов с теплотой сгорания 18 МДж/кг, если годовое производство фабрикой изделий 3000 – 90 · N штук, расчетный расход древесных отходов для котла $B_p = 560 + 10 \cdot N$ г/изделие. КПД котла на древесных отходах 0,72. КПД замещающей котельной установки $\eta_z = 0,88$.

Задание 2. Определить выработку электроэнергии и экономию условного топлива течение года на Белорусском металлургическом заводе при использовании теплоты ВЭР в конденсационной турбине за счет пара испарительного охлаждения промышленных печей, если энтальпия пара на выходе из печи:

$h_1 = 2000 + 40 \cdot N$ кДж/кг, на выходе из конденсационной турбины

$h_2 = 400$ кДж/кг, расчетный расход пара испарительного охлаждения

$B_p = 3,6 + 0,6 \cdot N$ кг/с.

Коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы конденсационной турбины и печи 0,95. Удельный расход теплоты на производство электроэнергии в конденсационной турбине 9 500 кДж/(кВт·ч), удельный расход теплоты на производство электроэнергии в теплофикационной турбине ТЭЦ 7 800 кДж/(кВт·ч). Расчет произвести с учетом снижения эффективности работы ТЭЦ.

Задание 3. Определить выработку электроэнергии и экономию условного топлива течение года на Минском тракторном заводе при использовании ВЭР избыточного давления в турбине за счет природного газа подаваемого на газораспределительный пункт, если средний расход газа $B_p = 36 + 0,5 \cdot N$ кг/с, температура газа на входе в турбину $T_1 = 220 + 5 \cdot N$ °С, на выходе из турбины $T_2 = 80$ °С. Относительный внутренний КПД турбины 0,87. Механический КПД турбины 0,99. КПД электрогенератора 0,98. Газовая постоянная $R = 520$ Дж/(кг·К). Удельный расход на выработку электроэнергии в замещающей турбине 310 г у. т/кВт ч. Коэффициент адиабаты природного газа $k = 1,315$.

Вопросы

1. Экономия топлива за счёт использования ВЭР
2. Технические проблемы использования ВИЭ

ПЗ № 3 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕРМОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УСТАНОВОК

(на основе расчетных формул)

Цель: Получение навыков расчета эксергии рабочего тела

Теоретическая часть

Максимальную полезную работу называют работоспособностью, или эксергией тела.

Получение работы возможно только от такой системы, которая не находится в равновесном состоянии с окружающей средой, то есть когда давление P_1 и температура T_1 системы больше давления P_0 и температуры T_0 среды, с которой взаимодействует система.

Рассмотрим изолированную адиабатную систему, состоящую из рабочего тела с параметрами T_1, p_1, S_1, i_1 и окружающей средой с параметрами T_0, p_0, S_0, i_0 . Если внутренняя энергия системы в начальном состоянии U' , а в конечном (при равновесном состоянии рабочего тела с окружающей средой) – U'' , тогда на основании 1 закона термодинамики имеем:

$$U'' - U' + L = Q = 0,$$

так как система адиабатная.

Внутренняя энергия системы величина аддитивная и складывается из внутренней энергии окружающей среды и энергии источника работы, тогда:

$$L = U_1 + U_{01} - (U_2 + U_{02}) = (U_1 - U_2) + (U_{01} - U_{02}),$$

Рабочее тело совершает работу против давления среды и обменивается с ней теплотой, то есть:

$$U_{02} - U_{01} = Q_0 + L_0$$

В свою очередь:

$$L_0 = p_0 \cdot (V_2 - V_1); \quad Q_0 = T_0 \cdot (S_{02} - S_{01})$$

Чтобы произведённая работа была максимальной, необходимо, чтобы процессы были обратимыми, то есть:

$$S_{02} - S_{01} = S_1 - S_2, \text{ а } p_2 = p_0 \text{ и } T_2 = T_0.$$

Тогда уравнение (2.2) запишется:

$$L_{\max} = E = (U_1 - U_0) - T_0 \cdot (S_1 - S_0) + p_0 \cdot (V_1 - V_0) = (I_1 - I_0) - T_0 \cdot (S_1 - S_0)$$

или на 1 кг рабочего тела:

$$e = (i_1 - i_0) - T_0 \cdot (s_1 - s_0).$$

В большинстве случаев рекомендации термодинамического и технико - экономического анализов существенно различаются. Например, анализ теплообменника показывает, что с термодинамической точки зрения надо свести к минимуму температурный напор, так как при этом эксергетические потери уменьшаются, но возрастёт поверхность нагрева и поэтому оптимальный вариант (минимум приведённых затрат) будет при довольно больших температурных напорах.

Сочетание технико - экономического анализа с термодинамическим называется термoeкономикой.

Эксергетический анализ показывает, как сократить энергозатраты, а термoeкономический анализ – до каких значений это сокращение экономически целесообразно.

В основу термoeкономического метода положено понятие стоимости эксергии, включающей все виды затрат в денежном выражении.

Анализ проводится в 2 этапа: эксергетический и термoeкономический.

Вопросы и задания

Пример решения задачи

Эксергию топлива можно определять по приближённой формуле:

$$e_m = Q_e^p$$

Эксергия продуктов сгорания определяется по формуле (в камере сгорания газовой турбины):

$$e_{n.c.} = C_{p \text{ н.с.}} \cdot (T_{теор} - T_0) - T_0 \cdot [C_{p \text{ н.с.}} \cdot \ln(T_{теор}/T_0) - R_{n.c.} \cdot \ln(p_{n.c.}/p_0) - \sum R_i \cdot \ln(1/r_i)] = H_{теор} - T_0 \cdot [C_{p \text{ н.с.}} \cdot \ln(T_{теор}/T_0) - R_{n.c.} \cdot \ln(p_{n.c.}/p_0) - \sum R_i \cdot \ln(1/r_i)]$$

где $H_{теор}$ – теоретическая энтальпия продуктов сгорания; $T_{теор}$ – теоретическая температура горения; $C_{p \text{ н.с.}}$ – средняя изобарная теплоёмкость продуктов сгорания; $R_{n.c.}$ – средняя газовая постоянная продуктов сгорания; R_i – газовая постоянная $i^{го}$ продукта сгорания; r_i – объёмные доли компонентов продуктов сгорания.

Эксергетический КПД процесса горения

$$\eta_e^{\Pi} = \frac{e_{n.c.}}{e_1} = \frac{(e_1 - \Delta e_{\Pi})}{e_1}$$

При сжигании топлива в парогенераторах происходит передача теплового потока от продуктов сгорания к нагреваемому телу. Эффективность этого процесса связана не только с уменьшением эксергии продуктов сгорания, но и с возрастанием эксергии нагреваемого тела, и эксергетический КПД

$$\eta_e^{\Pi_{пароген}} = \frac{(e''_{н.т.} - e'_{н.т.})}{(e'_{н.с.} - e''_{н.с.})} = \frac{e_{q \text{ н.т.}}}{e_{q \text{ н.с.}}} = \frac{(e_{qn.c.} - \Delta e_{\Pi})}{e_{q \text{ н.с.}}}$$

Эксергия теплового потока продуктов сгорания

$$e_{q \text{ н.с.}} = H_{теор} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{теор}}\right)$$

где $H_{теор} = Q_n^p \cdot \eta_t + Q_v + Q_m$ – теоретическая энтальпия; η_t – КПД топки; Q_v, Q_m –

физическое тепло воздуха и топлива, вносимых в топку; $T_{теор} = \left(\frac{H_{теор}}{\sum v_i \cdot C_{pi}}\right) + 273$ –

теоретическая температура горения.

Вопросы

1. Эксергия – функция состояния рабочего тела
2. Эксергетические диаграммы состояния

ПЗ № 4 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕРМОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УСТАНОВОК (на основе эксергетических диаграмм состояния)

Цель: Получение навыков построения эксергетической диаграммы

Теоретическая часть

Эксергетические диаграммы применяются при термодинамическом анализе энерготехнологических систем; из них непосредственно определяются величины e, e_q и их

составляющие для различных веществ и их смесей, а также τ_e при заданных значениях T и T_0 .

Наибольшее распространение получили диаграммы: $i(h)S$ и TS с линиями $e = idem$ и eh – диаграммы. Эти диаграммы в зависимости от физических свойств веществ составляются для $T_0 > T_n$ и $T_0 = T_n$, где T_n – нормальная температура кипения. Примеры диаграмм даны на рисунке 2.2. Согласно уравнению линия $e = idem$ является касательной к изобаре P_0 в точке 0 с координатами T_0, p_0 в диаграммах hS и eh (рисунки 1а и 1в). На eh – диаграмме (рисунок 2.2в) представлены различные процессы расширения рабочего тела 1 – 2, 1 – 3, 1 – 4 и сжатия 3 – 5. Процесс 1 – 2 обратимый адиабатный процесс, протекающий в идеальной тепловой машине, техническая работа которой $\ell_{mex\ 1-2} = h_1 - h_2 = e_1 - e_2$. Процесс 1 – 3 необратимый адиабатный процесс, протекающий в реальной тепловой машине, $\ell_{mex\ 1-3} = h_1 - h_3 < \ell_{mex\ 1-2}$. Процесс 1 – 4 процесс дросселирования, при котором $\Delta h_{1-4} = 0$.

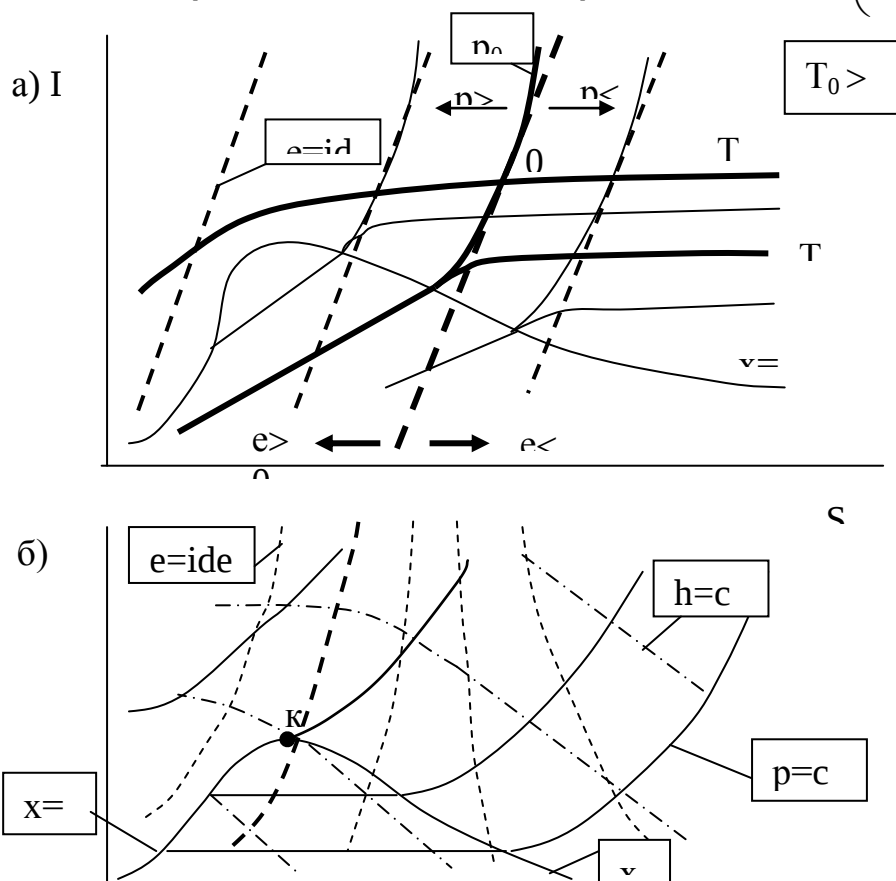
Эксергетические потери в этих процессах:

$\Delta e_{1-2} = (e_1 - e_2) - (h_1 - h_2) = 0 < \Delta e_{1-3} = (e_1 - e_3) - (h_1 - h_3) < \Delta e_{1-4} = e_1 - e_4 = T_0 \cdot \Delta S_{1-4}$, то есть потери увеличиваются, а эксергетический КПД уменьшается:

$$\eta_e^{1-2} = 1 - \frac{\Delta e_{1-2}}{e_1 - e_2} = 1 > \eta_e^{1-3} = 1 - \frac{\Delta e_{1-3}}{e_1 - e_3} > \eta_e^{1-4} = 1 - \frac{\Delta e_{1-4}}{e_1 - e_4} = 0.$$

Для процесса сжатия 3 – 5 техническая работа равна

$$\ell_{mex\ 3-5} = (e_5 - e_3) + e_q - \Delta e_{3-5} = (h_3 - h_5) + e_q = (h_3 - h_5) + q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$



Вопросы и задания

Пример решения задачи

Значительную помощь при эксергетическом анализе даёт диаграмма Грассмана – Шаргута потоков и потерь эксергии. На этой диаграмме каждый поток эксергии анализируемой установки изображается полосой, ширина которой пропорциональна значению эксергии. Полосы потерь эксергии штрихуются. На рисунке 2 изображена такая диаграмма для процесса сжигания топлива.

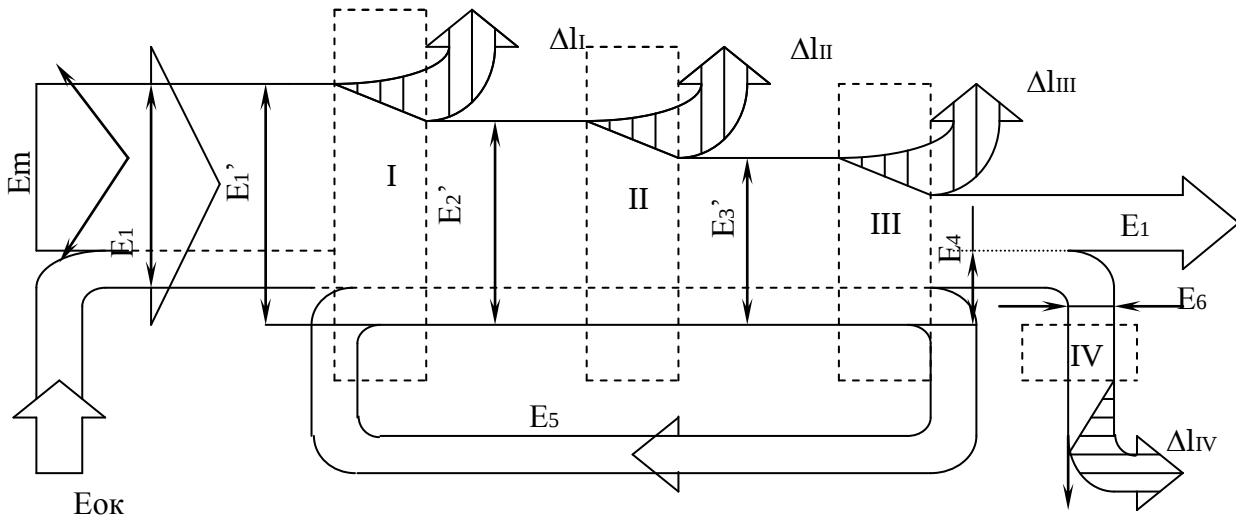


Рис.2

Суммарная эксергия на входе E_1 равна сумме эксергий топлива E_m и окислителя $E_{ок}$. Если топливо и окислитель перед сжиманием подогреваются в подогревателе I за счёт части эксергии E_5 , то их эксергия возрастает до величины E_1' . Процесс подогрева характеризуется потерями эксергии Δe_I . Подогретые топливо и окислитель с эксергией E_2' поступают в камеру сгорания II, где осуществляется процесс превращения эксергии E_2' топлива и окислителя в продукты сгорания высокой температуры с потерей эксергии Δe_{II} . Продукты сгорания с эксергией E_3' поступают в элемент III (парогенератор, теплогенератор, газовую турбину). Процесс использования эксергии продуктов сгорания в элементе III сопровождается эксергетическими потерями Δe_{III} , природа которых зависит от вида элемента III.

Так, в парогенераторах и теплогенераторах потеря Δe_{III} вызвана теплопередачей при больших разностях температур между продуктами сгорания и теплоносителями. Эксергия E_7 после элемента III поступает на дальнейшее использование. Остаточная эксергия E_4 частично может быть использована для подогрева топлива и окислителя (E_5) или в других теплоиспользующих установках. Эксергия выбрасываемых в атмосферу продуктов сгорания ($E_6 = \Delta e_{IV}$ при отсутствии подогревателя) состоит из тепломеханической, связанной с отличием их температуры T от температуры окружающей среды T_0 , и нулевой, связанной с отличием состава продуктов сгорания от состава окружающей среды.

Вопросы

3. Понятие о термозкономическом анализе

ПЗ № 5, 6 РАСЧЕТ СМЕСИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Цель: Получение навыков расчета смесительных теплообменников

Теоретическая часть

Теплообменные аппараты (ТА) – это устройства для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. По принципу работы они делятся на: рекуперативные, регенеративные и смесительные.

В основном применяются рекуперативные теплообменные аппараты, в которых передача тепла происходит через разделительную стенку. Конструктивно они выполняются в виде аппаратов с трубчатой (или реже с пластинчатой) поверхностью нагрева.

В регенеративном теплообменном аппарате передача тепла осуществляется через промежуточное аккумулирующее устройство (пластины, набивка и т. д.), которое попеременно смывается обоими теплоносителями. Возможны так же конструкции, в которых вращающееся аккумулирующее устройство попеременно вносится в поток первого и второго теплоносителей (например, вращающийся воздушнонагреватель в теплогенераторах и т. д.).

В смесительных теплообменных аппаратах передача тепла осуществляется при непосредственном контакте (смешении) теплоносителей.

В зависимости от взаимного направления движения теплоносителей различают теплообменные аппараты прямоточные, противоточные, с перекрестным током и со смешанным током.

Характеристиками теплообменного аппарата являются следующие величины:

Q – тепловая производительность аппарата, количество тепла, передаваемое в единицу времени, Вт;

F – поверхность теплообмена. Поверхность твердой стенки или поверхность раздела теплоносителей, через которую передается тепло, m^2 ;

Δt_{cp} – средняя разность температур теплоносителей, К;

K_{cp} – средний коэффициент теплопередачи по всей поверхности нагрева теплообменного аппарата, $Вт/(m^2 \cdot K)$.

Расчет теплообменных аппаратов производится по двум основным уравнениям:

1. Уравнению теплопередачи

$$Q = K_{cp} F \cdot \Delta t_{cp}; \quad (1)$$

2. Уравнению теплового баланса

$$Q = m_1 (h'_1 - h''_1) = m_2 (h''_2 - h'_2)$$

или

$$Q = m_1 C_{p1} (t'_1 - t''_1) = m_2 C_{p2} (t''_2 - t'_2), \quad (2)$$

где m_1 и m_2 – массовый расход первого и второго теплоносителя, кг/с;

t' и h' – температура и энтальпия теплоносителя на входе в аппарат, К и Дж/кг;

t'' и h'' – температура и энтальпия теплоносителя на выходе из аппарата, К и Дж/кг;

t_1 и h_1 – температура и энтальпия первого теплоносителя;

t_2 и h_2 – температура и энтальпия второго теплоносителя;

C_{p1} и C_{p2} – средняя теплоемкость при постоянном давлении первого и второго теплоносителя, Дж/(кг·К).

Решая совместно уравнения, можно найти три неизвестных параметра теплообменного аппарата, при заданных или принятых остальных.

Расчет и выбор форсунок и определение геометрических размеров аппарата (высоты факела) производится на основе опытных данных.

Принимается значение корневого угла факела форсунки β для центробежно – струйных форсунок.

Выбираются оптимальные значения размеров: диаметр единичного сопла форсунки d_c ; требуется свободная длина факела форсунки h .

Эти размеры определяются по следующим параметрам:

- изменению температуры теплоносителя;
- давлению жидкости перед форсунками $P_{жс}$;

Определяется производительности одиночной форсунки по формуле

$$V_{\phi} = \mu \frac{\pi d_c^2}{4} \sqrt{\frac{2P_{жс}}{\rho_{жс}}},$$

где $\mu = 0,955 \cdot P_{жс}^{-0,06} (0,676 - 24d_c)^{0,13}$ – коэффициент расхода центробежно – струйной форсунки.

Как известно, при смешивании потоков с различной температурой теряется их эксергия.

Примером является система теплоснабжения с режимом 150/70°C, что снижает затраты на тепловые сети, и система отопления жилых и общественных зданий с предельной температурой теплоносителя 95°C.

Примером термодинамической оптимизации является контактно – поверхностный котёл для горячего водоснабжения, в котором имеется насадки. Поверхность насадки в контактной камере подбирают из условия охлаждения в ней продуктов сгорания от собственной горелки котла до температуры уходящих газов отопительных котлов, что позволяет снизить потери эксергии.

Одновременно с сокращением потерь тепла может снижаться загрязнение окружающей среды, так как при увлажнении дутьевого воздуха снижаются выбросы оксидов азота.

В некоторых теплоиспользующих установках производится смешивание потоков с разными потенциалами. Эти процессы связаны с потерями эксергии:

$$e_{см} = c \cdot T_0 \cdot \left[\left(1 - K + K \cdot \frac{T_1}{T_2} \right) - K \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \right], \quad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость рабочего тела; T_1 ; T_2 – температуры смешивающихся рабочих тел; K – коэффициент смешения.

При $T_1 > T_2$ коэффициент смешения K определяется по формуле:

$$K = \frac{G_1}{G_1 + G_2},$$

где G_1 ; G_2 – расходы смешивающихся потоков.

Полезную работу, полученную за счёт теплоты Q_1 горячего источника при неравновесных процессах можно представить в виде:

$$L = Q_1 - Q_2 = Q_1 - T_0 \cdot \Delta S_0, \quad (2)$$

где Q_2 – теплота, отдаваемая в цикле окружающей среде; ΔS_0 - изменение энтропии окружающей среды.

Температура воды в подающем и обратном трубопроводах определяются по формулам:

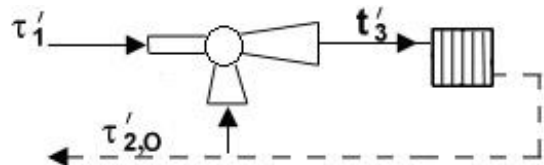
$$\tau_1 = t_B + \frac{\bar{Q}_{OT}}{\bar{G}_{OT}} \cdot (\delta \cdot \tau'_0 + \Delta t'_{OT} \cdot \frac{\bar{G}_{OT}}{\bar{Q}_{OT}^{0,2}} - 0,5 \cdot \theta');$$

$$\tau_{2,0} = t_B + \frac{\bar{Q}_{OT}}{\bar{G}_{OT}} \cdot (\Delta t'_{OT} \cdot \frac{\bar{G}_{OT}}{\bar{Q}_{OT}^{0,2}} - 0,5 \cdot \theta'),$$

где $\Delta t'_{OT} = \frac{t'_3 + t'_{2,0}}{2} - t_B$ – температурный напор в нагревательном приборе;

$\theta' = t'_3 - \tau'_{2,0}$ – перепад в отопительной системе;

$\delta \cdot \tau'_0 = \tau'_1 - t'_3$ – перепад в подающем трубопроводе.



Вопросы и задания

Пример решения задачи

Выполнить расчет водоструйного элеватора системы отопления

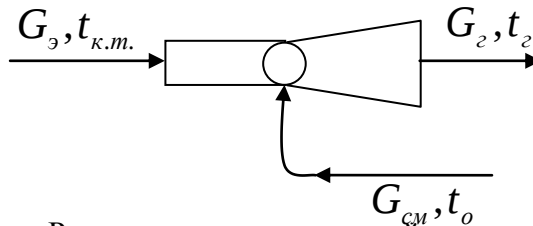


Рисунок – Расчетная схема водоструйного элеватора.

Коэффициент эжекции (смешения) равен:

$$u = \frac{G_{см}}{G_г} = \frac{t_{к.м.} - t_с}{t_с - t_о} = \frac{179,9 - 95}{95 - 70} = 3,4.$$

Расход горячей воды в системе отопления:

$$G_г = \frac{Q_{от}}{C_p \cdot (t_с - t_о)} = \frac{950}{4,19 \cdot (95 - 70)} = 9,1 \text{ кг/с},$$

где $t_с = 95^\circ \text{C}$ – температура горячей воды перед отопительной системой;

$t_о = 70^\circ \text{C}$ – температура воды в обратном трубопроводе системы отопления.

Расход высокотемпературного конденсата на входе элеватора:

$$G_х = \frac{G_г}{1 + u} = \frac{9,1}{1 + 3,4} = 2,1 \text{ кг/с}.$$

Диаметр горловины (камеры смешения) элеватора:

$$d_с = 0,165 \cdot \frac{G_х^{0,5}}{\Delta p_o^{0,25}} = 0,165 \cdot \frac{9,1^{0,5}}{15000^{0,25}} = 0,045 \text{ м},$$

где $\Delta p_o = p_с - p_о = (10 \div 15) \cdot 10^3 \text{ Па}$ – потери давления греющей воды в системе отопления.

По найденному размеру горловины принят элеватор №6 типа ВТИ Мосэнерго с фактическим размером горловины $d_r^\phi = 47 \text{ мм}$.

Для принятого типа элеватора требуемый размер диаметра сопла равен:

$$d_c = \frac{d_с^\phi}{\sqrt{1,2 \cdot (1 + u)^2 - 0,95 \cdot u^2}} = \frac{0,047}{\sqrt{1,2 \cdot (1 + 3,4)^2 - 0,95 \cdot 3,4^2}} = 0,014 \text{ м}.$$

Конструктивные размеры элеватора:

- Диаметр горловины – 47;
- Наружный диаметр корпуса – 88;
- Внутренний диаметр корпуса – 81;
- Диаметр патрубка сопла – 72;
- Внутренний диаметр подводящего патрубка – 80;
- Внутренний диаметр выходного патрубка – 100;
- Габаритная длина – 720.

Требуемый перепад давлений горячей воды на рабочем сопле элеватора:

$$\Delta p_c = p_s - p_o = 1,1 \cdot (d_s^\phi / d_c) \cdot \Delta p_o = \Delta p_c = 1,1 \cdot (0,047 / 0,014) \cdot 15000 = 55400 \text{ Па}.$$

Задача. Определить потерю эксергии при смешивании потоков с температурами смешивающихся рабочих тел – 110°C и 80°C. Расходы рабочих тел, соответственно 0,1 кг/с и 0,2 кг/с. Температура окружающей среды – 20°C. Удельная теплоемкость – 4,2 кДж/(кг К).

Вопросы

1. Контактные экономайзеры (смесительные теплообменники)
2. Потребители низкопотенциального тепла
3. Термодинамически оптимальные схемы теплоиспользующих установок
4. Биотопливо
5. Энергия волн
6. Преобразование тепловой энергии океана
7. Аккумулирование энергии

ПЗ № 7, 8 РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩИХ УСТАНОВОК

Цель: Получение навыков расчета котлов утилизаторов и контактных экономайзеров

Теоретическая часть

Методика расчета теплообменных аппаратов

Расчет теплообменных аппаратов производится по двум основным уравнениям:

3. Уравнению теплопередачи

$$Q = K_{cp} F \cdot \Delta t_{cp};$$

4. Уравнению теплового баланса

$$Q = m_1 (h'_1 - h''_1) = m_2 (h''_2 - h'_2)$$

или

$$Q = m_1 C_{p1} (t'_1 - t''_1) = m_2 C_{p2} (t''_2 - t'_2),$$

где m_1 и m_2 – массовый расход первого и второго теплоносителя, кг/с;

t' и h' – температура и энтальпия теплоносителя на входе в аппарат, К и Дж/кг;

t'' и h'' – температура и энтальпия теплоносителя на выходе из аппарата, К и Дж/кг;

t_1 и h_1 – температура и энтальпия первого теплоносителя;

t_2 и h_2 – температура и энтальпия второго теплоносителя;

C_{p1} и C_{p2} – средняя теплоемкость при постоянном давлении первого и второго теплоносителя, Дж/(кг·К).

Определение величин, входящих в расчетные уравнения

Средняя разность температур теплоносителей определяется из формулы среднелогарифмической разности:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}},$$

где $\Delta t_{\max}$, $\Delta t_{\min}$ – максимальная и минимальная разность теплоносителей на концах теплообменника, которые определяются в зависимости от конкретной схемы работы теплообменника.

Если $\Delta t_{\max} < 1,7 \Delta t_{\min}$, то Δt_{cp} можно определять по формуле среднеарифметической разности:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2}.$$

Анализ уравнения и схем включения ТА показывают, что схема включения по противотоку имеет следующие преимущества:

– при прочих равных условиях (расход теплоносителей, температуры и т. д.) Δt_{cp} при включении ТА по противотоку на 30 – 40% выше, чем при включении ТА по прямотоку, что значительно повышает экономическую и технологическую эффективность ТА без дополнительных затрат;

– при включении ТА по противотоку можно значительно повысить температуру подогрева второго теплоносителя (вплоть до $t_2'' > t_1''$) и понизить температуру первого теплоносителя (вплоть до $t_1'' < t_2''$), что позволяет более полно использовать тепловой потенциал обоих теплоносителей и повысить технологическую эффективность ТА.

Поверхность теплообмена и коэффициент теплопередачи в случае трубчатого теплообменника с достаточной степенью точности могут быть определены по формулам

теплопередачи для плоской поверхности, т. к. толщина стенки труб мала в сравнении с диаметром, а коэффициент теплопроводности для металлических труб достаточно большой. При этом условии:

$$F = \pi d_{\text{ср}} l n,$$

$$K_{\text{ср}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1\text{ср}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{2\text{ср}}}},$$

где $d_{\text{ср}} = 0,5(d_{\text{вн}} + d_{\text{нар}})$ – средний диаметр трубы, м;

n – число труб в теплообменнике, шт.;

l – длина одной трубы, м;

$\alpha_{1\text{ср}}$ и $\alpha_{2\text{ср}}$ – средние коэффициенты теплоотдачи для первого и второго теплоносителя, рассчитываемые для средних температур каждого из теплоносителей в теплообменнике, Вт/(м²·К);

$\delta_{\text{ст}}$ и $\lambda_{\text{ст}}$ – толщина стенки и коэффициент теплопроводности материала труб, соответственно, м и Вт/(м·К);

δ_3 и λ_3 – толщина и коэффициент теплопроводности загрязнений на поверхности труб теплообмена (учитываются при их наличии), м и Вт/(м·К).

Вопросы и задания

Пример решения задачи

Расчет калорифера

Расход высокотемпературного конденсата, подаваемого в качестве греющего теплоносителя на калорифер:

$$G_{\text{кал.}} = \frac{Q_{\text{г.}}}{C_{\text{г.}} \cdot (t_{\text{к.т.}} - t_{\text{о}})} = \frac{1136}{4,302 \cdot (179,9 - 70)} = 2,4 \text{ кг} / \text{с}.$$

Задаемся массовой скоростью воздуха $V_p = 12 \text{ кг} / (\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

Живое сечение калорифера для прохода нагреваемого воздуха (площадь просветов):

$$f = \frac{L_{\text{подг.}} \cdot \rho_{\text{воз.}}}{3600 \cdot V_p} = \frac{96000 \cdot 1,247}{3600 \cdot 12} = 2,77 \text{ м}^2.$$

Приняты три секции калорифера марки КСк2-12-01 с общей площадью живого сечения $3,135 \text{ м}^2$ и общей площадью поверхности нагрева $183,6 \text{ м}^2$.

Массовая скорость воздуха при этом равна:

$$V_p = \frac{L_{\text{подг.}} \cdot \rho_{\text{воз.}}}{3600 \cdot f} = \frac{96000 \cdot 1,247}{3600 \cdot 3,135} = 10,6 \text{ кг} / (\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Для принятого типа калорифера и рабочих температурных условий уточняется требуемая рабочая поверхность теплообмена:

$$F_{\text{кал}} = 1,15 \cdot \frac{Q_{\text{г.}} \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = 1,15 \cdot 66 \frac{1136 \cdot 10^3}{72,5 \cdot 109} = 182 \text{ м}^2,$$

где k – паспортное значение коэффициента теплопередачи калорифера, принятое равным $66 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

Δt_{cp} – средний температурный перепад между греющим теплоносителем и нагреваемым воздухом, равный:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_m)} = \frac{196 - 52}{\ln(196 / 52)} = 109^{\circ} C.$$

Требуемая рабочая поверхность теплообмена меньше общей площади нагрева трех секций калорифера.

Задание 1. Выполнить поверочный расчет горизонтального кожухотрубного подогревателя по заданным его размерам:

Общее число трубок - n ; число ходов по воде - z ; наружный диаметр трубок, выполненных из латуни - $d_{нар}$; толщина стенки трубок - $\delta_{ст}$; длина трубок - l .

Параметры теплоносителей: греющий пар – сухой насыщенный пар с давлением - P_n , температура конденсата на выходе из подогревателя - t_k , нагреваемая вода – начальная температура воды t_2' , конечная температура подогрева воды t_2'' .

По заданным исходным данным определить тепловую производительность подогревателя – Q , расход греющего пара – m_1 и нагреваемой воды m_2 .

Принять толщину загрязнений накипи со стороны нагреваемой воды δ_3 и коэффициент теплопроводности загрязнений λ_3 .

Исходные данные.

Характеристики подогревателя

$$d_{нар} = 25 \text{ мм}$$

$$\delta_{ст} = 1 \text{ мм}$$

$$n = 48$$

$$l = 1,6 \text{ м}$$

$$z = 4 \text{ шт}$$

$$\delta_3 = 0,15 \text{ мм}$$

$$\lambda_3 = 1,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Характеристики теплоносителя

$$P_n = 5,0 \text{ бар}$$

$$t_2' = 24^{\circ} C$$

$$t_2'' = 85^{\circ} C$$

$$t_k = 90^{\circ} C$$

Вопросы

1. Котлы утилизаторы
2. Потребители низкопотенциального тепла ВЭР.

ПЗ №9. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Цель: Изучение методик расчета геотермальных установок.

Теоретическая часть

Рассматривается массив грунта вокруг скважины, который представляет собой цилиндр диаметром R и образующей Z , рисунок.

Предполагается осесимметричное распределение температуры. Рассматривается малый элемент цилиндрического кольца: R – радиальное направление, м; Z – вертикальное направление, м; – наружный радиус наружной опускной трубы, м.

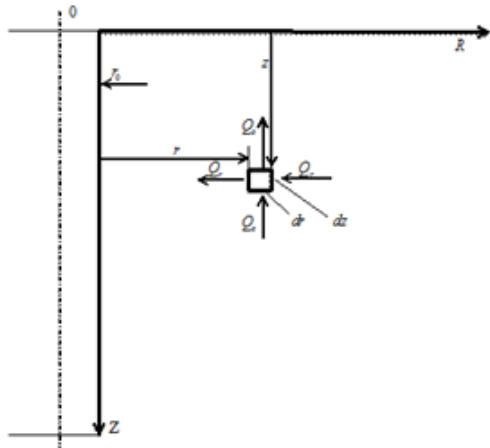


Рисунок – Расчетная схема в массиве грунта
Изменение количества теплоты в этом цилиндрическом кольце за время $\partial\tau$ равно:

$$dQ_T = c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot dz, \text{ Вт.} \quad (1)$$

Общее приращение количества тепла в рассматриваемом элементе, равно:

$$dQ_T = dQ_z + dQ_r = -\lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dz \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} dr \cdot 2\pi \cdot r \cdot dz =$$
$$= -\lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} \right) 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot dz, \text{ Вт.} \quad (2)$$

Изменение количества теплоты в этом цилиндре за время $d\tau$ должно быть равно общему приращению:

$$dQ_T = c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot dz = -\lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} \right) 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot dz, \text{ Вт.} \quad (3)$$

Окончательный вид уравнения, описывающего изменение температуры в массиве грунта:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = -a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} \right), \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}. \quad (4)$$

Вопросы и задания

Сформировать исходные данные для расчета. Характеристики скважины: внутренняя труба: $d_{1в}$, м; $d_{1н}$, м; λ_1 , Вт/(м К); наружная труба: $d_{2в}$, м; $d_{2н}$, м; λ_2 , Вт/(м К); обратная вода из теплосети: $t_{TC20,j}$, $^\circ\text{C}$; W_2 , м/с (или m , кг/с); глубина скважины: z , м.

Характеристика грунта: $grad\ t$, К/м; c_{zp} , Дж/(кг К); ρ_{zp} , кг/м³; λ_{zp} , Вт/(м К); $t_n = t_{zp0,j}$, $^\circ\text{C}$.

Вопросы

1. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности в цилиндрическом массиве грунта.

2. Характеристика схемы геотермальной скважины и графика изменения температур грунта.

3. Упрощающие предположения для разработки математической модели.

ПЗ №10. РАСЧЕТ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Цель: Навыки расчета геотермальных установок

Теоретическая часть

Общая схема скважины изображена на рисунке 1, а схема расчетного участка скважины на рисунке 2.

На рисунке 1: 1 – наружная опускная труба; 2 – внутренняя подъемная труба; t_k , °C – температура грунта на глубине скважины z_k , м; $t_{w1,k}$, °C – температура теплоносителя на глубине z_k , м; t_0 – температура на поверхности Земли; $t_{w1,0}$, $t_{w2,0}$ – температура теплоносителя на входе в скважину и на выходе из скважины, °C.

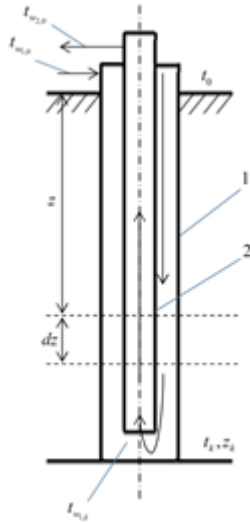


Рисунок 1 – Общая схема скважины

Для рисунка 3 выделяется бесконечно малый расчетный участок скважины.

На рисунке 2: t_r – температура стенки наружной опускной трубы; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты теплоотдачи на внутренней поверхности наружной опускной трубы, наружной поверхности внутренней подъемной трубы, внутренней поверхности внутренней подъемной трубы соответственно, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; r_1, r_2, r_3, r_4 – радиусы, внутренний наружной опускной трубы, внешний внутренней подъемной трубы, внутренний внутренней подъемной трубы, наружный радиус наружной опускной трубы соответственно, м; t_{w1}, t_{w2} – температура теплоносителя в наружной

опускной трубе и внутренней подъемной трубе, °C; w_1, w_2 – скорость теплоносителя в наружной опускной трубе и внутренней подъемной трубе, м/с; G – расход теплоносителя, кг/с; λ – коэффициент теплопроводности внутренней подъемной трубы,

$$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

скважины

уравнениям,

у поверхности
уравнениям:

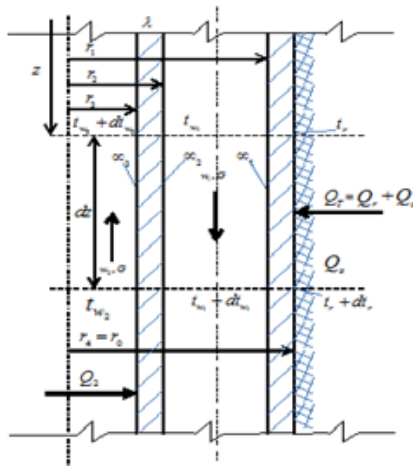


Рисунок 2 – Схема расчетного участка

Величины Q_1 и Q_2 определяются по

Вт:

$$\begin{cases} Q_1 = \alpha_1 \cdot (t_r - t_{w1}) \cdot 2\pi r_1 \cdot dz + Q_2, \text{ Вт}, \\ Q_2 = K_2 \cdot (t_{w2} - t_{w1}) \cdot dz, \text{ Вт}. \end{cases} \quad (5)$$

Величины тепловых потоков в грунте наружной трубы скважины определяются по

$$\begin{cases} Q_r = \lambda \cdot 2\pi \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \cdot r \cdot dz_{\text{тр}}, \text{ Вт}, \\ Q_z = \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial z_{\text{тр}}} \cdot r \cdot dr, \text{ Вт}, \end{cases} \quad (6)$$

Решение уравнения (4) осуществляется при помощи метода конечно-разностных схем с последовательным приближением, рисунки 4, 5.

На рисунках 3, 4: m – количество равных конечных приращений, на которые разбивается текущий радиус цилиндрического слоя грунта вокруг наружной опускной трубы; ΔR – конечное приращение радиуса цилиндрического слоя грунта вокруг наружной опускной трубы; $\Delta \tau$ – конечное приращение текущего времени, а текущее время рассматриваемого этапа равно $\tau_j = j \cdot \Delta \tau$; $\Delta z_{\text{гр}}$ – конечное приращение глубины петротермальной скважины; i – количество равных конечных приращений, на которые разбивается глубина петротермальной скважины.

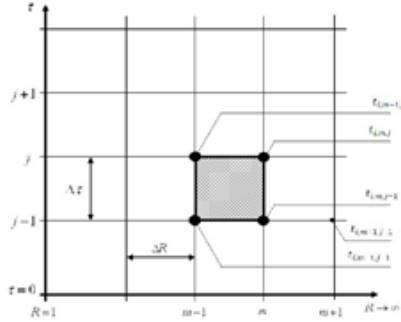


Рисунок 3 – Конечно-разностная схема по координатам $R - \tau$, для расчетного участка i

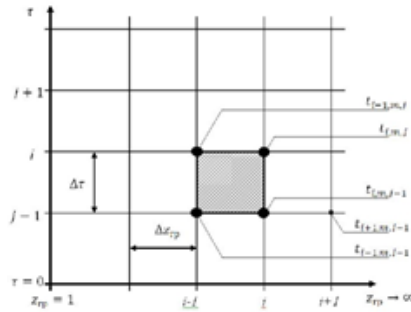


Рисунок 4 – Конечно-разностная схема по координатам $z_{\text{гр}} - \tau$, для расчетного m

Производная температуры грунта по времени:

$$\frac{\partial t_{\text{гр}}^{\text{cp}}}{\partial \tau} = \frac{t_{i,m,j-1} - t_{i,m,j}}{\Delta \tau}; \quad (7)$$

Первая производная температуры грунта по радиусу:

$$\frac{\partial t_{\text{гр}}^{\text{cp}}}{\partial r} = \frac{\Delta t_{i,m,j-1}^r}{\Delta r} = \frac{t_{i,m+1,j-1} - t_{i,m,j-1}}{\Delta r}; \quad (8)$$

Вторая производная температуры грунта по радиусу:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 t_{\text{гр}}^{\text{cp}}}{\partial r^2} = \frac{\Delta^2 t_{i,m,j-1}^r}{\Delta r^2} = \frac{(t_{i,m+1,j-1} - t_{i,m,j-1}) - (t_{i,m,j-1} - t_{i,m-1,j-1})}{\Delta r^2}; \\ \frac{\Delta^2 t_{i,m,j-1}^r}{\Delta r^2} = \frac{\Delta t_{i,m,j-1}^r - \bar{\Delta} t_{i,m-1,j}^r}{\Delta r^2}. \end{cases} \quad (9)$$

В приведенных уравнениях, приращения температуры равны:

$$\begin{cases} \Delta t_{i,m,j}^{\tau} = t_{i,m,j-1} - t_{i,m,j}; \Delta t_{i,m,j-1}^r = t_{i,m+1,j-1} - t_{i,m,j-1}; \\ \bar{\Delta} t_{i,m-1,j}^r = t_{i,m,j-1} - t_{i,m-1,j}. \end{cases} \quad (10)$$

Первая производная температуры грунта по высоте:

$$\frac{\partial t_{\text{гр}}^{\text{cp}}}{\partial z_{\text{гр}}} = \frac{\Delta t_{i,m,j-1}^z}{\Delta z_{\text{гр}}} = \frac{t_{i+1,m,j-1} - t_{i,m,j-1}}{\Delta z_{\text{гр}}}; \quad (11)$$

Вторая производная температуры грунта по высоте:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 t_{\text{гр}}^{\text{cp}}}{\partial z_{\text{гр}}^2} = \frac{\Delta^2 t_{i,m,j-1}^z}{\Delta z_{\text{гр}}^2} = \frac{(t_{i+1,m,j-1} - t_{i,m,j-1}) - (t_{i,m,j-1} - t_{i-1,m,j-1})}{\Delta z_{\text{гр}}^2}; \\ \frac{\Delta^2 t_{i,m,j-1}^z}{\Delta z_{\text{гр}}^2} = \frac{\Delta t_{i,m,j-1}^z - \bar{\Delta} t_{i-1,m,j}^z}{\Delta z_{\text{гр}}^2}. \end{cases} \quad (12)$$

В данных уравнениях, приращения температуры равны:

$$\Delta t_{i,m,j-1}^z = t_{i+1,m,j-1} - t_{i,m,j-1}; \bar{\Delta} t_{i-1,m,j}^z = t_{i,m,j-1} - t_{i-1,m,j}. \quad (13)$$

Подставляя вышеприведенные уравнения в уравнение (4), и после математических преобразований:

$$t_{i,m,j} = t_{i,m,j-1} + M \cdot \left(\frac{t_{i+1,m,j-1} - 2t_{i,m,j-1} + t_{i-1,m,j}}{\Delta z_{\text{гп}}^2} + \frac{t_{i,m+1,j-1} - 2t_{i,m,j-1} + t_{i,m-1,j}}{\Delta r^2} \right), \quad (14)$$

где $M = a \cdot \Delta \tau$ – постоянный коэффициент.

С учетом (10) и (13), уравнение (6) будет иметь вид:

$$\begin{cases} Q_{r_{i,j}}^{\text{сп}} = \lambda \cdot 2\pi \frac{t_{i,m+1,j-1} - t_{i,m,j-1}}{\Delta r} \cdot r \cdot \Delta z_{\text{гп}}, \text{ Вт,} \\ Q_{z_{i,j}}^{\text{сп}} = \lambda \cdot \frac{t_{i+1,m,j-1} - t_{i,m,j-1}}{\Delta z_{\text{гп}}} \cdot r \cdot \Delta r, \text{ Вт.} \end{cases} \quad (15)$$

Вопросы и задания

На основе конечно-разностной схемы изменения температуры по координатам $R - \tau$ определить значения производных температуры грунта по времени j и по радиусу R_m :

- производную температуры по времени r для данного радиуса R_m ;
- производную температуры грунта по радиусу R ;
- вторую производную температуры грунта по радиусу R .

Вопросы

1. Охарактеризовать конечно-разностную схему изменения температуры по координатам $R - \tau$.
2. Как определяются площади сечения внутренней трубы и кольцевого пространства.
3. Как определяется эквивалентный диаметр кольцевого пространства.
4. Как определяется плотность сетевой воды при средней температуре воды на расчетном участке.
5. Как определяются средние коэффициенты теплоотдачи от воды к стенке внутренней трубы и от стенки к воде в кольцевом пространстве.
6. Как определяется средний коэффициент теплопередачи для внутренней трубы на расчетном участке i в момент времени j .

ПЗ №11. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГЕЛИОУСТАНОВОК

Цель: Изучение методик расчета гелиоустановок (для нужд отопления).

Теоретическая часть

Для создания точной инженерной модели солнечной термической системы требуется вычисление угла падения солнечной энергии на различные поверхности. Следовательно, чтобы вычислить количество солнечной радиации, нужно определять угол для описания позиции солнца по отношению к поверхности (рисунок).

Широта φ – угловое расположение к северу или югу от экватора. Значение широты варьируются от -90° до 90° ; β – угол наклона между интересуемой поверхностью и линией горизонта; γ – угол азимута поверхности – отклонение нормали к поверхности от местного меридиана; δ – угол наклона земной оси по отношению к восходящему солнцу в астрономический полдень.

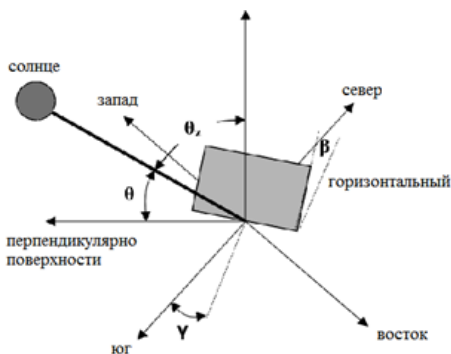


Рисунок. - Углы падения солнечных лучей

Значение отклонения δ ранжируется между $-23,45^\circ$ и $23,45^\circ$ относительно среднегодового положения солнца. Отклонение δ для определенного дня года определяется по формуле:

$$\delta = 23,45 \sin \left(\left(\frac{360}{365} \right) (284 + \Delta n) \right), \quad (1)$$

где Δn – количество дней года до момента измерения, считая с 1 января;

w – часовой угол – угловое смещение Солнца на восток или запад по отношению к местному меридиану вследствие вращения Земли вокруг своей оси на 15° в час относительно полудня, в отрицательную сторону утром и положительную – днем в зависимости от солнечного времени (τ).

$$w = 15(\tau - 12). \quad (2)$$

Угол наклона θ – угол между прямой радиацией на поверхность и нормалью к этой поверхности:

$$\cos \theta = \cos \varphi \cos \delta \cos w + \sin \varphi \sin \delta \quad (3)$$

Зенитный угол θ_z определяется по следующему уравнению:

$$\cos \theta_z = \cos(90 - \arccos(\theta)). \quad (4)$$

Угол заката определяется по формуле:

$$w_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) * 180/\pi. \quad (5)$$

Вопросы и задания

Определить для заданного дня года: β – угол наклона между интересуемой поверхностью и линией горизонта; γ – угол азимута поверхности – отклонение нормали к поверхности от местного меридиана; δ – угол наклона земной оси по отношению к восходящему солнцу в астрономический полдень.

Вопросы

1. Показать на схеме широту местности.
2. Показать на схеме угол азимута поверхности.
3. Показать на схеме отклонение нормали к поверхности от местного меридиана.
4. Показать на схеме угол наклона земной оси по отношению к восходящему солнцу в астрономический полдень

ПЗ №12. РАСЧЕТ ГЕЛИОУСТАНОВОК

Цель: Навыки расчета гелиотермальных установок (комбинированных).

Теоретическая часть

Дневное светлое время, может быть определено следующим образом: световой день $= w_s/15$ (часов).

Общее часовое значение солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность I_{th} , Вт/м², может быть вычислено из общей дневной радиации H в Вт*ч/(м² сутки) в день с учётом параметра времени V , 1/ч, которое определяется в соответствии с уравнением Дж. Даффи и У. Бекмана:

$$I_{th} = VH/3,6, \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi}{24} \cdot (x + y \cdot \cos w) \cdot \left[\frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - \frac{\pi}{180} \cdot w_s \cdot \cos w_s} \right], \quad (2)$$

где параметры:

$$x = 0,409 + 0,5016 \sin(w_s - 60), \quad (3)$$

$$y = 0,6609 + 0,4767 \sin(w_s - 60). \quad (4)$$

Радикация E_n , Вт/м², на поверхность в космосе, которая расположена под некоторым углом к солнечным лучам – это функция от расстояния между Землей и Солнцем, определяемая по уравнению Даффи и Бэкмана:

$$E_n = I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot \Delta n}{365} \right) \right), \quad (5)$$

где I_{sc} – солнечная постоянная равная 1353 Вт/м².

Используя солнечный зенитный угол, радиацию на поверхность в космосе (Вт/м²) можно определить исходя из закона Ламберта:

$$E_h = E_n \cdot \cos \Theta. \quad (6)$$

Внеземная радиация на поверхность при любом часовом угле (w):

$$E_n = I_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot \Delta n}{365} \right) \right) \cdot [\cos \varphi \cos \delta \cos w + \sin \varphi \sin \delta]. \quad (7)$$

Общая солнечная радиация состоит из прямой радиации, идущей прямо от солнечного диска и диффузной компоненты, рассеянной по поверхности от купола неба H_d . Последняя зависит от яркости и может быть определена из уравнения Колларес-Перейра и Рабл:

$$H_d = H/3,6(0,775 + 0,00606(w_s - 90) - [0,505 + 0,00455(w_s - 90)] \cdot \cos(115K_T - 103)), \quad (8)$$

где K_T – параметр яркости дня, определяемый как отношение дневной радиации на горизонтальную поверхность к радиации H_o в космосе на эту же поверхность, то есть:

$$K_T = \frac{H}{H_o \cdot 3,6}, \quad (9)$$

$$H_o = \frac{24I_{sc}}{\pi} \left[\left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot \Delta n}{365} \right) \right) \cdot (\cos \varphi \cos \delta \sin w_s) + \frac{\pi \cdot w_s}{180} \cdot \sin \varphi \sin \delta \right]. \quad (10)$$

Часовые значения рассеянной солнечной радиации, Вт/м², могут быть вычислены из уравнения Лю и Джордана:

$$I_d = H_d \cdot \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - \frac{\pi w_s}{180} \cdot \cos w_s}. \quad (11)$$

Прямая компонента солнечной радиации, Вт/м², на горизонтальную поверхность земли в этом случае определяется из уравнения:

$$I_{bh} = I_{th} - I_d . \quad (12)$$

Часовые значение прямой солнечной радиации на поверхность, расположенную под углом к направлению луча I_{bh} :

$$I_{bh} = \frac{I_{bh}}{\cos \theta_z} . \quad (13)$$

Общую солнечную радиацию на наклонную поверхность можно рассчитать как сумму трех компонентов: прямого, рассеянного и отраженного. Общая радиация на наклонной поверхности представляется суммой релевантной прямой, рассеянной и отраженной поверхностью радиацией:

$$I_{Ti} = (I_{bh} + I_d \cdot A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \cdot \left(1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) + 0,2 I_{th} \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right), \quad (14)$$

где A_i – показатель анизотропии, который моделирует часть рассеянной радиации, которая должна рассматриваться как рассеянная в дальнейшем.

Показатель анизотропии может быть определен как отношение между прямой радиацией на горизонтальную земную поверхность и горизонтальной внеземной радиацией.

$$A_i = \frac{I_{bh}}{I_o} , \quad (15)$$

$$I_o = I_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot \Delta n}{365} \right) \cdot (\cos \varphi \cos \delta \cos w + \sin \varphi \sin \delta) \right); \quad (16)$$

$$f = \sqrt{\frac{I_{bh}}{I_{th}}} ; \quad (17)$$

R_b - часовой геометрический фактор, определяемый как:

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z - \beta)} . \quad (18)$$

Вопросы и задания

Дать технико-экономическую оценку эффективности использования солнечной энергии для г. Ставрополя (географическая широта местности 45°): Среднемесячное суточное поступление суммарной солнечной энергии, МДж/(м² день); Годовой теплосъем; Экономии топлива.

Угол наклона коллектора

$$\beta = \varphi - 10 = 35^\circ ,$$

где φ - географическая широта местности.

Оптимальная ориентация - Ю, т. е. $\gamma=0$.

Вопросы

1. Определение дневного светлого времени.
2. Из каких компонентов складывается общая солнечная радиация?
3. Диффузная компонента, рассеянная по поверхности от купола неба?
4. Определение показателя анизотропии?
5. Определение часового геометрического фактора?

ПЗ №13, 14. РАСЧЕТ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА

Цель: Расчет расхода реагентов очистки биогаза.

Теоретическая часть

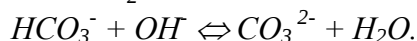
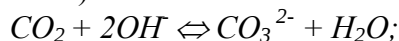
В основу оценки способа обработки биогаза известковым раствором положены стехиометрические уравнения химических реакций.

Образование карбонатных ионов происходит по следующей схеме.

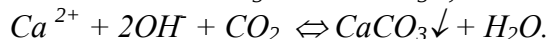
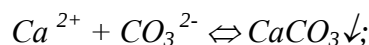
Диссоциация воды:



Растворение в воде диоксида углерода в связи с его диссоциацией (с промежуточной стадией образования бикарбонатного иона):



В результате насыщения раствора углекислым газом, происходит осаждение в виде $CaCO_3 \downarrow$:

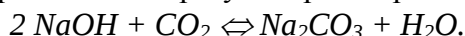


Таким образом, на 1 киломоль ($22,4 \text{ м}^3$) поглощаемого углекислого газа расходуется 1 киломоль (54 кг) извести, т.е. для поглощения $22,4 \text{ м}^3 CO_2$ расходуется 54 кг $Ca(OH)_2$. При концентрации CO_2 в биогазе до 30%, расход извести на очистку биогаза составит $0,72 \text{ кг/м}^3$.

Недостатком предлагаемого способа является высокий расход реагентов.

Также, вместо извести для поглощения углекислого газа может использоваться щелочь.

При использовании раствора щелочи образуется раствор соды:



При этом расход щелочи на очистку биогаза составит $0,53 \text{ кг/м}^3$.

Также как и в первом случае, достаточно высокий расход реагентов, но получается ценный продукт – сода.

Степень очистки биогаза - высокая.

С учетом технической чистоты реагентов действительный расход будет несколько выше, но с учетом высокой степени очистки биогаза, предложенные методы могут быть использованы в комбинации с регенерируемыми системами очистки на финишной стадии.

Вопросы и задания

Определить месячный расход реагентов на очистку биогаза при выработке биогаза $50 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Вопросы

1. Что такое стехиометрия?
2. Единица измерения количества вещества?
3. Чему равен объем 1 киломоля газа при нормальных условиях?
4. Записать реакции образования карбонатных ионов?

ПЗ №15. РАЗРАБОТКА РАСХОДНОЙ ЧАСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Цель: Разработка расходной части топливно-энергетического баланса

Теоретическая часть

Расходы включают в себя:

- по котельному топливу только технологические нужды на выпуск товарной продукции;

- по тепловой и электрической энергии – общецеховые и общепроизводственные расходы, а также потребление этих энергоресурсов вспомогательными цехами.

Общепроизводственные затраты тепловой и электрической энергии ($P^п_о$) включают:

- наружное освещение промплощадки предприятия;
- освещение, вентиляцию, отопление, горячее водоснабжение административных помещений, общих складских помещений, центральных лабораторий, а также вспомогательных цехов и столовых буфетов, заводских прачечных, находящихся на территории предприятия (по форма XX-СН статья «Прочее производственное потребление»).

Собственные энергозатраты вспомогательных цехов ($P^в_о$) включают:

- общецеховые затраты ($P^в_{оц}$) (на освещение, вентиляцию, горячее водоснабжение и т.д.);

- технологические затраты ($P^в_т$) (сварка, металлообработка, сушка изделий и полуфабрикатов и т.д.).

Собственные энергозатраты основных цехов ($P^о_о$) включают:

- общецеховые затраты ($P^о_{оц}$) (на освещение, вентиляцию, горячее водоснабжение и т.д.);

- технологические затраты ($P^о_т$) – в соответствии с технологической картой (регламентом) производства.

Все виды энергозатрат для нормализованных балансов рассчитываются по утвержденным индивидуальным нормам и нормативам удельных расходов энергоресурсов или проекту, теоретическим расчетам и т.п.

Распределение общепроизводственных затрат энергоресурсов ($P^п_о$) производится пропорционально доле энергопотребления цеха вспомогательного или основного) в их суммарном энергопотреблении:

$$\Delta^о_о = \frac{P^о_о}{P^в_о + P^о_о} * P^п_о, \quad (1)$$

где $\Delta^о_о$ – добавка общепроизводственных расходов к цеховым (для основных цехов);

$$\Delta^в_о = \frac{P^в_о}{P^в_о + P^о_о} * P^п_о, \quad (2)$$

$\Delta^в_о$ – добавка общепроизводственных расходов к цеховым (для вспомогательных цехов).

Учитываемый расход энергоресурса составит:

$$P^в_у = P^в_о + \Delta^в_о - \text{для вспомогательных цехов}; \quad (3)$$

$$P^о_у = P^о_о + \Delta^о_о - \text{для основных цехов}. \quad (4)$$

Плановая цеховая энергоемкость продукции (услуг, работ и т.д.) будет:

$$H^в_ц = P^в_у : \Pi^в - \text{для вспомогательных цехов}; \quad (5)$$

$$H^о_ц = P^о_у : \Pi^о - \text{для основных цехов}, \quad (6)$$

где $\Pi^в$ и $\Pi^о$ – планируемые объемы выпуска продукции, услуг, работ и т.д. в соответствующих натуральных или денежных единицах.

Рассчитывается полная («выпускная») энергоемкость для товарной продукции основных цехов. В товарную продукцию может входить как номенклатурная продукция, так и товары народного потребления, а также полуфабрикаты, услуги и изделия вспомогательных цехов, продаваемые на сторону.

Полная энергоемкость включает и энергоемкость полуфабрикатов, услуг и работ вспомогательных цехов, используемых в деятельности основных цехов. Если объем использованных услуг, полуфабрикатов, работ и т.д. – $\Phi_{\text{в}}^0$, то учитываемые затраты основных цехов по продукции вспомогательных:

$$P_{\text{в}}^0 = H_{\text{ц}}^{\text{в}} \times \Phi_{\text{в}}^0, \quad (7)$$

Тогда полные затраты основных цехов:

$$P_{\Sigma}^0 = P_o^0 + \Delta_o^0 + P_{\text{в}}^0, \quad (8)$$

И полная («выпускная») энергоемкость продукции основных цехов:

$$H_{\Sigma}^0 = P_{\Sigma}^0 : \Pi^0, \quad (9)$$

Вопросы и задания

Определить собственные энергозатраты вспомогательных цехов.

Определить собственные энергозатраты основных цехов.

Вопросы

1. Как распределяются общепроизводственные затраты энергоресурсов по энергопотреблению цеха вспомогательного или основного в их суммарном энергопотреблении.
2. Что включают общепроизводственные затраты тепловой и электрической энергии.

ПЗ №16. АНАЛИЗ РАСХОДНОЙ ЧАСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Цель: Количество теплоты, отпускаемой от водогрейной котельной

Теоретическая часть

Количество теплоты, отпускаемой от водогрейной котельной, рассчитывается в зависимости от схемы установки приборов учета.

При установке расходомеров воды на подающем, обратном и подпиточном трубопроводах:

$$Q_{\text{отп}}^{\text{вод}} = N(G_1^{\phi} t_1 - G_2^{\phi} t_2 - G_{\text{пв}}^{\phi} t_{\text{пв}}) 10^{-3}, \text{ ккал} \quad (1)$$

При установке расходомеров воды на подающем и подпиточном трубопроводах:

$$Q_{\text{отп}}^{\text{вод}} = N(G_1^{\phi} (t_1 - t_2) + G_{\text{пв}}^{\phi} (t_2 - t_{\text{пв}})) 10^{-3}, \text{ ккал} \quad (2)$$

При установке расходомеров воды на обратном и подпиточном трубопроводах:

$$Q_{\text{отп}}^{\text{вод}} = N(G_2^{\phi} (t_1 - t_2) + G_{\text{пв}}^{\phi} (t_1 - t_{\text{пв}})) 10^{-3}, \text{ ккал} \quad (3)$$

При установке расходомеров воды на подающем и обратном трубопроводах:

$$Q_{\text{отп}}^{\text{вод}} = N(G_1^{\phi} (t_1 - t_{\text{пв}}) + G_{\text{пв}}^{\phi} (t_2 - t_{\text{пв}})) 10^{-3}, \text{ ккал} \quad (4)$$

где N - число суток отпуска теплоты в отчетном периоде;

Далее все величины - среднесуточные за отчетный период.

D_{ϕ} - фактический среднесуточный отпуск пара котельной, т/сутки; $i_{\text{п}}$ - его теплосодержание, ккал/кг; $G_{\text{к}}^{\phi}$ - среднесуточное количество возвращаемого конденсата, т/сутки; G_1^{ϕ} , G_2^{ϕ} , $G_{\text{пв}}^{\phi}$ - фактические среднесуточные расходы воды по подающему, обратному и подпиточному трубопроводам, т/сутки; t_1 , t_2 , $t_{\text{пв}}$, $t_{\text{к}}$ - температура воды в подающем, обратном, подпиточном и конденсатном трубопроводах.

Вопросы и задания

Дать схему установки приборов учета тепла, отпускаемого водогрейной котельной для случаев 1-4..

Вопросы

1. Как перевести ккал в кДж?
2. Типы расходомеров воды.

ПЗ №17. РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Цель: Оценка энергосберегающих мероприятий

Теоретическая часть

Разработанные мероприятия рекомендуется приводить в порядке возрастания их стоимости:

- 1) беззатратные мероприятия (управленческие):
 - повышение сознательности и ответственности работников;
 - изменение графика работы и т.п.
- 2) низкзатратные мероприятия (системное решение):
 - установка контрольного оборудования.
- 3) высокзатратные мероприятия (технические решения):
 - модификация оборудования и сетей;
 - замена морально и физически изношенного оборудования на современное энергоэффективное.

Вопросы и задания

Разработать мероприятия по модификации оборудования тепловых сетей.

Вопросы

1. Виды контрольного оборудования
2. Моральный и физический износ оборудования.

ПЗ №17. Расчет норм и нормативов энергопотребления предприятия

Цель работы: Расчет норм и нормативов энергопотребления предприятия

Теоретическая часть

Годовой расход тепла определяют по формуле:

$$Q_{Г.В.}^{ГОД} = [Q_{Ч.СР} \cdot Z_{ОТ} + Q_{Ч.СР.Л} \cdot (8400 - Z_{ОТ})] \cdot 10^{-3} \quad ,$$

где $Q_{Ч.СР}$ – среднечасовая нагрузка в сутки отопительного периода, кДж/ч;

$$Q_{Ч.СР.Л} = Q_{Ч.СР} \cdot \frac{t_{Г} - t_{Х.Л}}{t_{Г} - t_{Х.З}} \cdot \beta_{Л} \quad - \text{среднечасовая нагрузка в сутки летнего периода;}$$

$\beta_{Л} = 0,8$ – коэффициент снижения нагрузки в летний период;

$t_{Х.Л} = +15, t_{Х.З} = +5^{\circ}C$ – температура исходной воды соответственно в летний и зимний период;

8400 – общее число часов работы в году системы горячего водоснабжения, с учетом 15-ти суточного перерыва на профилактику и ремонты.

Годовые расходы тепла технологических потребителей определяются на основании графиков суточной загрузки оборудования и годовой производственной программы.

Вопросы и задания

Рассчитать годовой лимит газообразного топлива котельной в г. Ставрополе мощностью 7,5 МВт.

Вопросы

1. Виды энергетических обследований?
2. Цели и задачи первичного обследования?
3. Какими документами оформляются результаты энергетического обследования?
4. Указать основные разделы отчета по энергетическому обследованию. Кто утверждает отчет?

ПЗ №18. СОСТАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПРЕДПРИЯТИЯ

Цель: Составление энергетического баланса предприятия

Теоретическая часть

Составляются балансы по потребляемым энергоресурсам и приводится:

- анализ потребления электроэнергии;
- анализ потребления газа;
- анализ потребления пара;
- анализ потребления горячей воды на отопление и горячее водоснабжение;
- анализ потребления технической воды и т.д.

Этот раздел составляет основную часть отчета. Каждый из них должен включать:

- описание соответствующего оборудования, процесса и т.д.;
- описание выполненных обследований, контрольных замеров и т.п.;
- рекомендации по повышению энергоэффективности объектов и процессов;
- информацию по затратам на внедрение мероприятий и их финансовую оценку – технико-экономическое обоснование (бизнес-план).

Вопросы и задания

Разработать технико-экономическое обоснование (бизнес-план) по внедрению нового оборудования.

Вопросы

1. Анализ потребления электроэнергии.
2. Анализ потребления газа.
3. Анализ потребления пара.
4. Анализ потребления горячей воды на отопление и горячее водоснабжение.
5. Анализ потребления технической воды.

Список рекомендуемой литературы

1. Перечень основной литературы:
 1. Верхованцев, А. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / А. А. Верхованцев, А. А. Куликов, И. В. Иванова ; под редакцией А. А. Верхованцева. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2022. — 104 с.
2. Перечень дополнительной литературы:
 1. Геотермальная энергия : Ресурсы, разработка, использование / [П. Кругер, К. Отт] ; пер. с англ. А. Е. Святловского . - М. : Мир, 1975. - 354 с.
 2. . Подготовка геотермальных вод к использованию / Х.Х. Натанов . - М. : Стройиздат, 1980. - 80 с.
 3. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии/ Виссарионов В. И. 2004. - 448 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**по выполнению курсового проекта
по дисциплине
«Использование вторичных и возобновляемых источников
энергии»**

Содержание

Введение

1. Цель, задачи и реализуемые компетенции
2. Формулировка задания
3. Структура курсового проекта
4. Общие требования к написанию и оформлению курсового проекта
5. Последовательность выполнения задания
6. Критерии оценивания курсового проекта
7. Порядок защиты курсового проекта
8. Список рекомендуемой литературы

Введение

Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Использование вторичных и возобновляемых источников энергии» предназначены для студентов направления подготовки 08.04.01 Строительство, направленность (профиль) Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий. В них приведены задания и исходные данные на проектирование, даны рекомендации по объему, содержанию и последовательности выполнения расчетно-пояснительной записки и графической части курсового проекта.

Приведена схема с описанием системы теплоснабжения индивидуального жилого дома энергией от солнечного излучения.

Последовательно излагаются методики расчета тепловой нагрузки для теплоснабжения индивидуального жилого дома, потока лучистой энергии, воспринимаемой приемником солнечного излучения, а также расчета потерь энергии приемником по их категориям.

Приведена методика выбора количества коллекторов-приемников лучистой солнечной энергии.

Приводятся практические рекомендации по использованию при выполнении курсового проекта методической, учебной и справочной литературы.

Составитель: канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости Смирнов С.С.

1. Цель, задачи и реализуемые компетенции

Курсовой проект является завершающим этапом изучения дисциплины «Использование вторичных и возобновляемых источников энергии» и предназначен для закрепления и углубления знаний в области использования вторичных и возобновляемых источников энергии, а также для подготовки студентов к выполнению выпускной квалификационной работы.

Цель курсового проекта заключается в анализе возможности использования нетрадиционных энергоресурсов в России и мире и расчет системы солнечного теплоснабжения. А также формирование компетенций ПК-1, ПК-8 будущего магистра по направлению подготовки 08.04.01 Строительство, направленность (профиль) Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий.

Для достижения указанной цели необходимо решить ряд задач:

- систематизация, закрепление и углубление теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины;
- получение знаний об основных характеристиках возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов;
- оценка их энергетического потенциала;
- направления и технологические схемы их получения и использования;
- процессы и аппараты, связанные с использованием этих видов энергии;
- возможности использования возобновляемых источников энергии.

2. Формулировка задания

Курсовой проект выполняется на тему: Расчет системы солнечного теплоснабжения. Исходные данные принимаются из табл.1 в соответствии двух цифрового шифра. Все остальные данные, необходимые для выполнения курсового проекта, принимаются студентом самостоятельно по соответствующим нормативным материалам, справочной и специальной литературе.

3. Структура курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Текстовая часть курсового проекта оформляется в виде пояснительной записки. *Пояснительная записка* должна содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект (Приложение Б);
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список используемой литературы

Титульный лист является первым листом курсового проекта. Переносы слов в надписях титульного листа не допускаются (Приложение А).

Введение. Обосновывается значение и актуальность проблемы, рассматриваемой в проекте, формулируются цель и задачи курсового проекта. Описывается значение использования солнечной энергии; существующие способы использования ее; преимущества и область применения этой энергии.

Текст основной части курсового проекта состоит из 4-х разделов:

Раздел 1. Теоретическое обоснование проекта.

Раздел 2. Расчёт потребной тепловой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение для индивидуального жилого дома.

Раздел 3. Расчёт требуемого размера солнечного коллектора.

Раздел 4. Расчёт теплового баланса стандартного приемника коллектора солнечного излучения.

Заключение. В заключении формулируются основные итоги и выводы по работе, проделанной в курсовом проекте.

Список используемой литературы должен содержать перечень только тех источников, которые использованы при написании курсового проекта. Их должно быть не меньше 3 наименований. Ссылки на использованные источники следует приводить в виде сносок.

Содержание графической части:

- принципиальная схема конструкции приемника солнечного излучения - металлический проточный нагреватель с трубками, заключенный в контейнере с одинарной стеклянной крышкой;
- принципиальная схема водонагревателя с естественной циркуляцией;
- конструкция установки солнечного водонагревателя.

4. Общие требования к написанию и оформлению курсового проекта

Пояснительная записка курсового проекта оформляется в соответствии с требованиями к оформлению текстовых документов по ГОСТ. Курсовой проект выполняется на компьютере, оформляется только на лицевой стороне белой бумаги следующим образом:

1. *Объем* – 15 – 20 страниц печатного текста;
 2. *Формат* – А4, печатается на одной стороне листа;
 3. *Шрифт* – Times New Roman;
 4. *Кегль*: - 14 пт. в основном тексте, 12 пт. в сносках, таблицах;
 5. *Межстрочный интервал*: полуторный в основном тексте, одинарный в подстрочных ссылках;
 6. *Нумерация* страниц арабскими цифрами в нижнем правом углу листа.
- Объем графической части – 1 лист формата А2.

5. Последовательность выполнения задания

Раздел 1. Теоретическое обоснование проекта

Характеристика вопроса использования солнечной энергии: дать анализ литературного обзора по данному вопросу. Основные направления и показатели существующих и перспективных схем и установок по использованию солнечной энергии. Описание работы схемы водонагревателя от солнечной энергии.

Исходные данные для выполнения курсового проекта представлены в таблице.

Таблица1- Исходные данные для выполнения курсового проекта

Первая цифра шифра	Объем жилого дома V_d ; м^3	Число жителей в доме n ; чел.	Наименование населенных пунктов
0	200	6	Астрахань
1	250	8	Гагры
2	275	10	Ессентуки
3	300	12	Камышин
4	325	14	Краснодар
5	350	16	Луцк
6	400	17	Майкоп
7	425	18	Ставрополь
8	450	19	Армавир
9	500	20	Нальчик
Вторая цифра шифра	Удельный поток солнечного излучения E_p ; $\text{Вт}/\text{м}^2$	Среднегодовая температура наружного воздуха T_a ; $^{\circ}\text{C}$	Температура нагретой воды, T_p ; $^{\circ}\text{C}$
0	750	10	65
1	900	13	70
2	800	12	65
3	700	9	63
4	600	11	61
5	550	8	60
6	850	12	68
7	780	10	65
8	880	13	69
9	720	11	67

Дать описание работы выбранной схемы по использованию солнечной энергии.

Раздел 2. Расчет потребной тепловой нагрузки для теплоснабжения заданного индивидуального жилого дома.

Тепло для теплоснабжения индивидуального жилого здания расходуется на отопление в зимний период и круглогодично на горячее водоснабжение. Расчет ведется по укрупненным показателям.

Тепловая нагрузка на отопление рассчитывается по формуле:

$$Q_{om} = \alpha_1 \cdot q_{yk} \cdot (t_e - t_n) \cdot V_d \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

где V_d - объем индивидуального дома, м^3 ;

t_e - расчетная температура воздуха в жилом помещении, равная согласно СПиП-П-33-75, 18 °С;

t_p^n - расчетная температура наружного воздуха для режима отопления в зависимости от района расположения дома, принимается по СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика;

α_1 - коэффициент, учитывающий влияние расчетной разности температур $(t_e - t_p^n)$ - определяется по формуле:

$$\alpha_1 = 0,54 + \frac{22}{(t_e - t_p^n)},$$

$q_{ук}$ - удельная тепловая характеристика дома, ориентировочно можно определить по формуле:

$$q = 1,163 \cdot \frac{(1 + 2d) \cdot F + S}{V_d}, \text{ Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C};$$

где d - степень остекления наружных стен дома, можно принять $d=0,3$;

S - площадь дома в плане, м²;

F - площадь наружных стен, м².

Для определения последних двух величин для всех вариантов можно принять: высоту дома $H=5$ м., а длину короткой стены $b=6$ м.

Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение рассчитывается по формуле:

$$Q_{г.в.}^{om} = N \cdot q_{сут}^{cp} \cdot C \cdot (t_{г.в.} - t_{х.в.}) \times (1 + \beta_c) / 24 \cdot 3600, \text{ кВт}$$

где N - число жителей в доме;

$\alpha_{сут}^{cp}$ - норма расхода горячей воды одним жителем в сутки, кг/(чел. сут); по укрупненным

нормам [2, прил.5] равна $q_{сут}^{cp} = 10$ кг/чел. сут;

C - удельная теплоемкость воды, принять равной $C=4,19$ кДж/кг К;

$t_{г.в.}$ - температура горячей воды, принять $t_{г.в.}=50^\circ\text{C}$;

$t_{х.в.}$ - температура холодной воды, принять в отопительный период $t_{х.в.}^3=5^\circ\text{C}$, а в летний период $t_{х.в.}^л=15^\circ\text{C}$;

β_c - коэффициент, учитывающий протяженность и мощность системы горячего водоснабжения. Для рассчитываемой маломощной и с малой протяженностью $\beta_c=0,05 - 0,1$.

Суммарные расходы тепла:

в зимний период: $\sum Q_{т.с.}^3 = Q_{от} + Q_{г.в.}^{3,om}$, кВт

в летний период: $\sum Q_{т.с.}^л = Q_{г.в.}^л$, кВт

Максимальную тепловую нагрузку, относящуюся к зимнему периоду, использовать при определении количества солнечных батарей (коллекторов) для индивидуального жилого дома.

Раздел 3. Расчёт требуемого размера солнечного коллектора

Выбор конструкции приемника солнечного излучения. Для нагревания воды солнечным излучением можно принять несколько приемников лучистой энергии, необходимое количество которых определяется в заключительной части данного расчета.

Конструкцию приемника можно, принять закрытого типа, состоящего из черной резиновой емкости, размеры которой в м - $1 \times 1 \times 0,1$ с толщиной стенки 0,005 м. Ёмкость содержит; $M = 100$ кг воды. Она помещена внутри контейнера с одинарной стеклянной, крышкой, расположенной над емкостью на расстоянии - $X=0,03$ м. Плоскость дна емкости теплоизолирована с толщиной слоя изоляции $\delta_{из}=0,1$ м. Теплоизоляцией является стеклоткань, пенополистирол и др. наиболее эффективные с коэффициентом теплопроводности в среднем $\lambda_{из}=0,03$ Вт/м².

Схема конструкции выбранного приемника приведена на рис.1. На схеме указаны уровни температур.

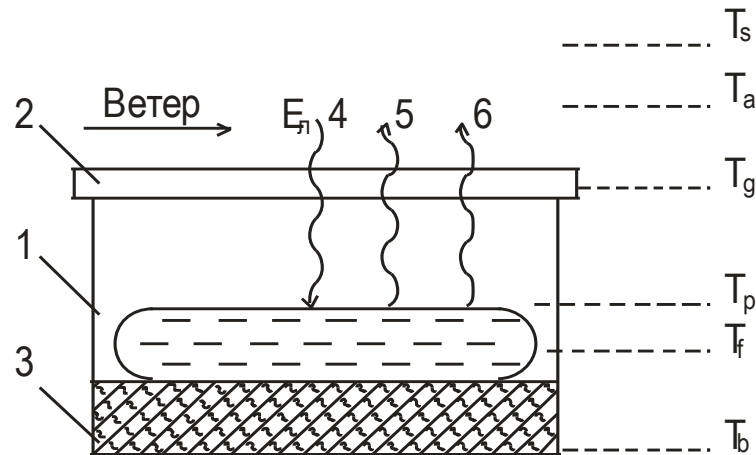


Рис. 1. Схема конструкции приемника лучистой энергии

- 1 - черный резервуар с нагреваемой водой;
- 2 - стеклянная крышка;
- 3 - теплоизоляционный слой;
- 4 - излучение солнца;
- 5 - радиационные потери;
- 6 - конвективные потери.

Индекс "a" - уровень близлежащего слоя атмосферы к поверхности стеклянной крышки;
индекс S - то же удаленного слоя;
индекс g - средний уровень стеклянной крышки;
индекс p - уровень наружной поверхности черного резервуара;
индекс f - уровень средней температуры воды в резервуаре;
индекс b - уровень наружной поверхности теплоизоляции.

Описание разработанной схемы теплоснабжения жилого дома солнечной энергией.
Рассматриваемая схема приведена на рис.2.

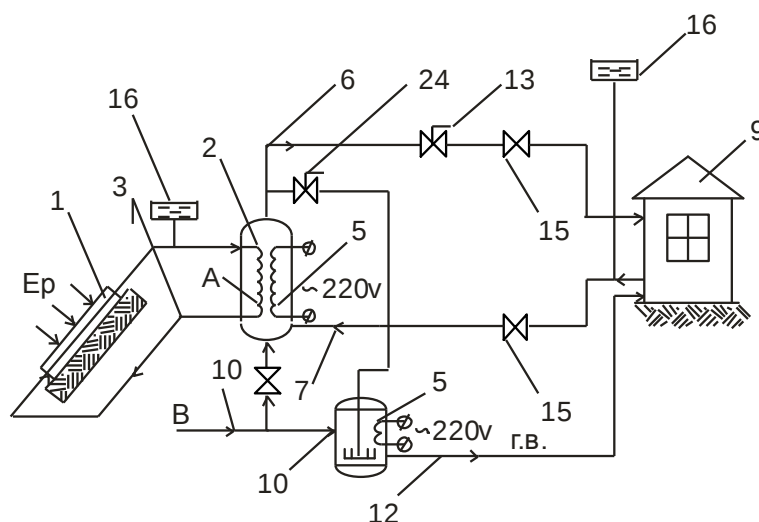


Рис.2. Схема теплоснабжения

- 1 - коллектор солнечного излучения;
- 2 - бак-аккумулятор тепла;
- 3 - линии циркуляции промежуточного горячего теплоносителя;
- 4 - теплообменник для нагрева рабочего теплоносителя;
- 5 - резервный источник тепла (электронагреватель);
- 6 - подающая линия горячей воды на отопление;

- 7- то же обратной воды;
- 8- подающая линия воды на горячее водоснабжение;
- 9- жилой дом;
- 10- подача холодной воды;
- 11- бак воды для горячего водоснабжения;
- 12- линия подачи горячей воды;
- 13- регулятор подачи горячей воды;
- 14 - регулятор подачи воды на отопление;
- 15 - отключающие задвижки;
- 16 - расширительный бачок.

Принятая схема водонагревательной установки является двухконтурной. В первом контуре с естественной циркуляцией, состоящем из солнечного коллектора 1, теплообменника 4, расширительного бачка 16 и подающего и обратного трубопровода 3, в качестве теплоносителя используется незамерзающее вещество - антифриз, что обеспечит круглогодичную работу установки. Второй контур образуют бак-аккумулятор 2, подающий 6 и обратный трубопровод 7 горячей воды на отопление жилого дома 9. Для обеспечения горячего водоснабжения, часть горячей воды из бака 2 отводится по трубопроводу 8 в бак 11 резервной воды, а из него направляются по трубопроводу 12 в жилой дом 9. Холодная вода, подаваемая по линии 10, разделяется на два направления:

в бак 2 для нагрева и в бак 11 для смешения с горячей водой с целью поддержания температуры воды для горячего водоснабжения на уровне 50°C. В обоих баках предусматриваются резервные нагреватели 5 (например, электрические тены), автоматически включаемые при ослаблении или отсутствии солнечного излучения. В схеме трубопроводной коммуникации предусмотрены регуляторы (13 и 14) расходов горячей воды соответственно на отопление и горячее водоснабжение.

Раздел 4. Расчет теплового баланса приемника солнечного излучения.

Задачей данного расчета является определение теплового потока, генерируемого солнечным коллектором, и воспринятый нагреваемой водой. Этот тепловой поток равен потоку лучистой энергии, поглощаемой поверхностью данного приемника за вычетом его тепловых потерь:

$$Q_{\text{з.в.}} = Q_{\text{л}} - \sum Q_{p-a}, \text{ Вт}$$

где $Q_{\text{л}}$ - поток лучистой энергии, поглощаемой поверхностью приемника (коллектора);

$\sum Q_{p-a}$ - суммарная потеря тепла приемником в окружающую среду. Этими потерями являются:

- потери тепла с поверхности теплоизоляции дна приемника;
- потери тепла за счет свободной конвекции атмосферного воздуха в воздушном промежутке между стенкой резервуара и стеклянной крышкой;
- потери тепла излучением отраженной части воспринимаемой лучистой энергии поверхностью резервуара.

Последовательно определяются отмеченные потоки энергии. Поток лучистой энергии, поглощаемой поверхностью приемника, определяется по формуле:

$$Q_{\text{л}} = E_p \cdot Q_p \cdot F_p \cdot \tau_{\text{cov}}, \text{ Вт}$$

где E_p - облученность приемника или удельный поток солнечного излучения, Вт/м² (по заданию);

F_p - площадь освещенной поверхности приемника, равная согласно геометрическим размерам резервуара: $F_p = 1 \cdot 1 = 1 \text{ м}^2$;

Q_p - коэффициент поглощения приемной поверхности; для черной поверхности $Q_p = 0,9$;
 τ_{cov} - коэффициент пропускания прозрачного покрытия (стеклянная крышка), защищающего приемную поверхность (F_p) от ветра. При наличии стеклянной крышки $\tau_{\text{cov}} = 0,9$.

Для определения потерь тепла через дно с теплоизоляцией резервуара принимаем температуру наружной поверхности теплоизоляции T_{ϵ} приближенно равной температуре окружающей среды T_a , т.е. $T_{\epsilon} = T_a$. Температуру наружной поверхности резервуара в виду очень тонкой стенки можно принять равной заданной температуре нагретой воды T_p .

Расчет потери тепла через дно с теплоизоляцией осуществляется по уравнению теплопроводности:

$$Q_{\epsilon a} = \frac{(T_p - T_{\epsilon})}{R_{\epsilon a}} \cong \frac{(T_p - T_a)}{R_{\epsilon a}},$$

где $R_{\epsilon a}$ - термическое сопротивление дна с теплоизоляцией, являющейся - основной составляющей дна, определяется по формуле:

$$R_{\epsilon a} = \frac{\delta_{uz}}{\lambda_{uz} \cdot F_{\partial}}, \text{ } ^{\circ}K/Bm$$

где F_{∂} - площадь дна.

$$\text{Тогда: } Q_{\epsilon a} = \frac{(T_p - T_{\epsilon}) \cdot \lambda_{uz} \cdot F_{\partial}}{\delta_{uz}}, \text{ Вт;}$$

Определение потерь тепла через стеклянную крышку осуществляется по следующим соображениям. Наличие разности температур неизолированной поверхности резервуара (T_p) и атмосферного воздуха (T_a) вызывает свободную конвекцию воздуха в воздушном промежутке между стенкой резервуара и стеклянной крышкой. Благодаря этому тепло переносится от стенки резервуара к крышке, а затем в окружающую среду. Одновременно поверхность резервуара излучает отражением часть воспринимаемой лучистой энергии солнца в диапазоне длины волны 10 мкм. В этой области спектра излучения стекло не пропускает лучистую энергию, поэтому тепловое излучение резервуара непосредственно с окружающей средой не взаимодействует, а поглощается стеклянной крышкой. Это тепло, как и первоначальное, отводится с наружной поверхности крышки в окружающую среду так же свободной конвекцией.

Учитывая изложенное можно записать выражение для полного термического сопротивления рассмотренных теплопотерь - между приемной поверхностью резервуара и окружающим воздухом:

$$R_{pa} = \left\{ \frac{1}{R_{v,pg}} + \frac{1}{R_{r,pg}} \right\}^{-1} + R_g + \left\{ \frac{1}{R_{v,ga}} + \frac{1}{R_{r,ga}} \right\}^{-1}, \text{ } ^{\circ}K/Bm$$

где $R_{v,pg}$, $R_{v,ga}$ - конвективные термические сопротивления соответственно внутренней и наружной поверхностям стеклянной крышки, $^{\circ}K/Bm$;

$R_{r,pg}$, $R_{r,ga}$ - то же только радиационные термические сопротивления, $^{\circ}K/Bm$;

R_g - термическое сопротивление теплопроводности стенки стеклянной крышки, $^{\circ}K/Bm$.

Последнее пренебрежимо мало, так как стекло тонкое ($\delta_{cm} = 5 \text{ мм}$) и достаточно теплопроводимое ($\lambda_{cm} = 1 \text{ Вт/м}^{\circ}K$), поэтому разность температур между поверхностями крышки пренебрежимо мало.

Для приемника (резервуара) площадью $F_g = 1 \text{ м}^2$ конвективное сопротивление $R_{v,pg}$

определяем с помощью критериальных уравнений: $R_{v,pg} = \frac{X}{Nu \cdot \lambda_{\epsilon oz} \cdot F_g}, \text{ } ^{\circ}K/Bm$;

где $\lambda_{\epsilon oz}$ - коэффициент теплопроводности воздуха, равный $0,028 \text{ Вт/м}^{\circ}K$,

Nu - критерий Нуссельта, определяемый по формуле:

$$Nu = 0,062 R_a^{0,33},$$

R_a - критерий Рэлея, определяемый по формуле:

$$R_a = \frac{g \cdot \beta \cdot x^3 \cdot \Delta T}{a \cdot \nu},$$

где $\beta = \frac{1}{T_{cp}}$ - коэффициент температурного расширения, $1/^{\circ}K$.

T_{cp} - средняя температура между температурами стеклянной крышки $T_g, ^{\circ}K$ и поверхностью резервуара - $T_p = (t_p + 273) ^{\circ}K$.

Температуру стеклянной крышки можно принять как среднюю между температурами стенки резервуара t_p и окружающей среды:

$$T_g = [0,5 \cdot (t_p + t_a) + 273] K.$$

$$T_{cp} = 0,5 \cdot (T_g + T_p)$$

$\Delta T = T_p - T_g$ K - разность отмеченных температур;

ν - кинематическая вязкость воздуха при средней его температуре $t_{cp} = (T_{cp} - 273) ^{\circ}C$, принимается по табл. 9 [5];

a - коэффициент температуропроводности для воздуха при t_{cp} принимается по табл. 9 [5].
Определить рассмотренные величины: R_a и N_u , а затем $R_{v,pg}$.

Радиационное термическое сопротивление между стенкой резервуара и нижней поверхностью стеклянной крышки ($R_{r,pg}$) можно рассчитать по уравнению для лучистого теплообмена между двумя параллельными плоскостями [1]:

$$R_{r,pg} = \frac{1/\varepsilon_p + 1/\varepsilon_g - 1}{4 \cdot \sigma_0 \cdot F_{pg} \cdot T_{cp}^3}, \text{ } ^{\circ}K/Bm;$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ } ^{\circ}K^4$ - константа излучения абсолютно черного тела;

T_{cp} - средняя температура рассматриваемых поверхностей K равная:

$$T_{cp} = \frac{T_p + T_g}{2}, \text{ } ^{\circ}K;$$

где T_p и T_g - рассчитаны выше;

$\varepsilon_p, \varepsilon_g$ - коэффициенты излучательной способности соответствующей стенки.

При выше отмеченном-длинноволновом излучении ($\lambda_{из} \geq 10 \text{ мкм}$) эти коэффициенты для обеих плоскостей одинаковы и равны $\varepsilon_p = \varepsilon_g = 0,9$.

Таким образом, получаем полное термическое сопротивление промежутка: приемная поверхность резервуара - стеклянная крышка:

$$R_{pg} = \left[\frac{1}{R_{v,pg}} + \frac{1}{R_{r,pg}} \right]^{-1}, K/Bm;$$

Сопротивление конвективным теплопотерям между наружной поверхностью стеклянной крышки и окружающим воздухом определяется по формуле:

$$R_{v,ga} = 1/(\alpha_v \cdot F_{кр}), K/Bm;$$

где α_v - коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{ } ^{\circ}K$, определяется по формуле из табл. 3.2 [1]:

$$\alpha_v = a + b \cdot V$$

Из той же таблицы:

$$a = 5,7 \text{ Вт} \cdot \text{с/м}^2 \cdot \text{ } ^{\circ}K;$$

$$b = 3,8 \text{ Вт} \cdot \text{с/м}^2 \cdot \text{ } ^{\circ}K;$$

$V = m/c$ - заданная скорость ветра.

Аналогично рассчитывается сопротивление радиационным потерям между рассматриваемыми средами:

$$R_{r,ga} = 1/(\alpha_{r,ga} \cdot F_{kp}), \text{ К/Вт};$$

где α_r - коэффициент теплоотдачи радиацией определяется по формуле [1]:

$$\alpha_{r,ga} = \frac{\varepsilon_p \cdot \sigma_o \cdot (T_g^2 + T_s^2) \cdot (T_g + T_s) \cdot (T_g - T_s)}{T_g - T_a},$$

где T_s - температура воздуха в верхних слоях атмосферы (неба) равная: $t_s = (T_a - 6), ^\circ\text{C}$ или $T_s = (273 + t_s)$ К. Полное термическое сопротивление между крышкой и окружающей средой будет:

$$R_{ga} = \left[\frac{1}{R_{v,ga}} + \frac{1}{R_{r,ga}} \right]^{-1}, \text{ } ^\circ\text{K/Bm};$$

Рассчитать полное сопротивление теплопотерям между приемной поверхностью резервуара и окружающим воздухом по вышеприведенной формуле:

$$R_{pa} = \left[\frac{1}{R_{pg}} \right]^{-1} + \left[\frac{1}{R_{ga}} \right]^{-1}, \text{ } ^\circ\text{K/Bm};$$

Потери тепла от приемника лучистой энергии через стеклянную крышку площадью 1 м^2
 $\cdot Q_{pa} = (T_p - T_a)/R_{pa}; \text{ Вт}$

Суммарная потеря тепла, включая через теплоизоляцию дна резервуара:

$$\sum Q_{pa} = Q_{pa} + Q_{sa}; \text{ Вт}$$

Тепловой поток, воспринимаемый нагреваемой водой в одном коллекторе:

$$Q_{т.п.луч.} = Q_{з.в.} = (Q_{л} - \sum Q_{pa}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт/кол.}$$

При нагревании воды от T_1 до T_2 (заданные), массовый расход которой через один приемник составляет $M \text{ кг/с}$, тепловой поток, воспринимаемый водой, будет:

$$Q_{з.в.} = M \cdot C_{з.в.} \cdot (T_p - T_{х.в.}^{cp}), \text{ кВт/кол.},$$

где $C_{ze} = 4185 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{K}$ - теплоемкость при ее средней температуре $T_{х.в.}^{cp}$ - среднегодовая температура холодной воды, можно принять равной $T_{х.в.}^{cp} = 10^\circ\text{C}$.

Из равенства двух последних уравнений определяем расход нагреваемой воды:

$$Q_{л} - \sum Q_{pa} = M \cdot C_{з.в.} \cdot (T_p - T_{х.в.}^{cp})$$

$$M = \frac{Q_{л} - \sum Q_{pa}}{C_{з.в.} \cdot (T_p - T_{х.в.}^{cp})}; \text{ кг/с} \cdot \text{кол} \text{ или } \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{кол}$$

Определить максимально возможную температуру нагрева воды. Эта температура достигается, когда будет наблюдаться баланс подводимого тепла и потерь при максимальной температуре нагрева:

$$Q_{л} = \sum Q_{пот};$$

$$Q_{л} = \tau \cdot \alpha_p \cdot F_p \cdot E_p = (T_{p, \max} - T_a)/R_{pa};$$

$$T_{p, \max} = Q_{л} \cdot R_{pa} + T_a, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определить требуемое количество солнечных коллекторов принятой конструкции, для теплоснабжения жилого дома в зимний и летний период:

$$n_{икол} = \frac{\sum Q_{т.е.и}}{Q_{т.п.лу}}, \text{ шт.}$$

или $\sum F_{прик} = 1 \cdot n_{икол}; \text{ м}^2.$

6. Критерии оценивания курсового проекта

Результаты защиты курсового проекта определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

При проверке задания, оцениваются:

- правильность выполнения заданий;
- последовательность и рациональность выполнения;
- точность расчетов.

При проверке курсового проекта оцениваются:

- последовательность изложения материала;
- правильность оформления курсового проекта;
- правильность выполнения графической части.

При защите курсового проекта оцениваются:

- четкое изложение материала;
- умение ориентироваться в тексте и расчетах проекта;
- правильность ответов на дополнительные вопросы по теме курсового проекта.

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил курсовой проект, проявив при этом самостоятельность, инициативность, творческий подход; результаты защиты курсового проекта положительные; обладает сформированными систематическими знаниями, сформированными целостными умениями, успешным и систематическим применением навыков

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он выполнил курсовой проект в полном объеме с незначительным нарушением сроков, был менее самостоятелен, инициативен в деятельности; имеются отдельные замечания по выполнению проекта; результаты защиты курсового проекта положительные; обладает сформированными, но содержащими отдельные пробелы в знании основного материала, в целом успешным, но содержащим отдельные пробелы умением, в целом успешным, но содержащим отдельные пробелы применения навыков.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он выполнил курсовой проект не в полном объеме, нуждался в помощи при выполнении заданий, есть серьезные замечания по выполнению проекта; в результате защиты курсового проекта высказаны замечания; обладает общими, но не структурированными знаниями, в целом успешным, но не систематическим умением, в целом успешным, но не систематическим применением навыков.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему большие пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему грубые и принципиальные ошибки в формулировках основных понятий и при выполнении курсового проекта; обладает фрагментарными знаниями, частично освоенным умением, фрагментарным применением навыков.

7. Порядок защиты курсового проекта

Готовность к защите законченного курсового проекта определяет руководитель. Если проект выполнен в полном объеме и не имеет принципиальных ошибок, то руководитель допускает студента к защите. В противном случае проект возвращается студенту для доработки. После получения положительного заключения о готовности курсового проекта студент должен защитить его.

Во время защиты студент кратко (5-7 мин) докладывает о результатах проектирования и отвечает на вопросы по содержанию курсового проекта и материалу курса.

Текст доклада должен полностью отражать содержание курсового проекта. При формировании доклада и презентации необходимо проверить соответствие названия проекта, целей и полученных результатов. Презентация к докладу позволяет иллюстрировать основные положения доклада, раскрыть тему проекта, а так же помочь докладчику во время выступления.

Примерные вопросы к защите КП

1. Солнечное излучение. Основные сведения.
2. Расположение приемника относительно солнца
3. Оценки солнечной энергии
4. Нагревание воды солнечной энергией (типы приемников)
5. Тепловой баланс солнечного приемника
6. Солнечные подогреватели воздуха
7. Солнечные отопительные системы

8. Список рекомендуемой литературы

1. Перечень основной литературы:
Верхоланцев, А. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / А. А. Верхоланцев, А. А. Куликов, И. В. Иванова ; под редакцией А. А. Верхоланцева. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2022. — 104 с.
2. Перечень дополнительной литературы:
 - 2.1 Геотермальная энергия : Ресурсы, разработка, использование / [П. Кругер, К. Отт] ; пер. с англ. А. Е. Святловского . - М. : Мир, 1975. - 354 с.
 - 2.2 Подготовка геотермальных вод к использованию / Х.Х. Натанов . - М. : Стройиздат, 1980. - 80 с.
 - 2.3 Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии/ Виссарионов В. И. 2004. - 448 с.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**по организации и проведению самостоятельной
работы по дисциплине**

«Использование вторичных и возобновляемых источников энергии»

по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство»

Содержание

Введение

1. Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины
2. План-график выполнения самостоятельной работы
3. Контрольные точки и виды отчетности по ним
4. Методические рекомендации по изучению теоретического материала
5. Методические указания для обучающихся по освоению учебной дисциплины
6. Список рекомендуемой литературы

Введение

Дисциплина «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии» осваивается студентами в течение 135 часов. Часть этого времени отводится на аудиторные формы работы (лекционные, практические занятия), которые организуются непосредственно преподавателем. Часть установленных стандартом часов отводится для самостоятельной, или внеаудиторной, работы студентов и предназначена для подготовки к сдаче экзамена.

Дисциплина относится к базовой части блока вариативной части, дисциплина по выбору - Б1.В.03, её освоение происходит на 2 курсе.

Самостоятельная работа студентов – самостоятельная учебная деятельность студента, организуемая и осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя, но по его заданиям и под его контролем.

Цель организации самостоятельной работы по дисциплине «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии» состоит в создании условий (ресурсов) для выполнения определённых видов самостоятельной работы, обеспечивающих формирование компонентов заданных дисциплинарных компетенций ПК-1, ПК-8.

Указанная цель может быть реализована выполнением следующих задач:

- проектирование структуры самостоятельной работы по видам и формам выполнения;
- проектирование компонентной структуры заданных дисциплинарных компетенций, формируемых при выполнении видов самостоятельной работы;
- распределение компонентов заданных дисциплинарных компетенций по формам самостоятельной работы;
- определение требований к образовательным технологиям, используемым при выполнении видов самостоятельной работы;
- определение требований к основным видам выполнения самостоятельной работы.

1. Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов учебной деятельности обучающихся, способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений.

При изучении дисциплины «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы:

1. Самостоятельное изучение теоретического материала;
2. Подготовка к лекционным занятиям;
3. Подготовка к практическим занятиям;
4. Выполнение курсового проекта.

2. План-график выполнения самостоятельной работы

Код реализуемой компетенции	Вид деятельности студентов	Форма контроля	Сроки выполнения
ПК-1, ПК-8	Изучение литературы по темам дисциплины	Конспект Собеседование	Еженедельно
ПК-1, ПК-8	Подготовка к лекциям	Конспект Собеседование	Еженедельно
ПК-1, ПК-8	Подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическим занятиям Собеседование	Еженедельно
ПК-1, ПК-8	Выполнение КП	Защита КП	16-я неделя
ПК-1, ПК-8	Подготовка к экзамену	Сдача экзамена	18-я неделя

3. Контрольные точки и виды отчетности по ним

Рейтинговая система е предусмотрена

4. Методические рекомендации по изучению теоретического материала

При изучении дисциплины «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии» учебным планом предусмотрены аудиторные занятия (лекции и практические), а также самостоятельная работа студентов (СРС) по изучению основной и дополнительной литературы.

Основными формами работы и контроля СРС в данной дисциплине является самостоятельное изучение основного и дополнительного теоретического материала по темам, представленным в рабочей программе дисциплины. Отчет по данной форме контроля представляется в форме конспекта. Данное мероприятие сочетает письменную и устную формы деятельности студента; выявляет аналитические умения, навыки выделения смысловых центров текста.

Оценка знаний с помощью собеседования

Проверка знаний материала лекционных и практических занятий проводится в виде собеседования. Предполагается, что отдельные вопросы тем дисциплины изучаются студентами самостоятельно. Знания указанных вопросов проверяется наличием конспектов, отчетов по практическим занятиям и собеседованием. Ниже приведены вопросы для собеседования по темам дисциплины «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии».

Вопросы для собеседования

по дисциплине «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии»:

1. Классификация ВЭР.
2. Источники ВЭР.
3. Экономия топлива за счёт использования ВЭР.
4. Эксергия – функция состояния рабочего тела.
5. Эксергетические диаграммы состояния.
6. Понятие о термoeкономическом анализе.
7. Котлы утилизаторы.
8. Контактные экономайзеры (смесительные теплообменники).
9. Термодинамически оптимальные схемы теплоиспользующих установок.
10. Потребители низкопотенциального тепла ВЭР.

11. Теоретические и практические основы использования возобновляемых (нетрадиционных) источников энергии.
12. Принципы использования возобновляемых источников энергии.
13. Технические проблемы использования ВИЭ.
14. Социально-экономические последствия использования ВИЭ.
15. Солнечное излучение. Использование солнечной энергии.
16. Ветроэнергетика. Технологии использования ветровой энергии.
17. Геотермальная энергия. Технологии использования геотермальных ресурсов.
18. Другие ВИЭ.
19. Законодательная и нормативная база энергоаудита.
20. Потенциал энергосбережения.
21. Управление энергосбережением.
22. Цели и задачи энергоаудита.
23. Приборное обеспечение энергоаудита.
24. Правила проведения энергоаудита.
25. Оформление результатов энергетических обследований.
26. Методика составления энергетического баланса предприятия.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: беседу с преподавателем на темы изучаемой дисциплины в виде собеседования.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции: ПК-1, ПК-8. Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить лекционный материал, материалы практических занятий, а также вопросы, выносимые на самостоятельное изучение.

Данное оценочное мероприятия проводится на практических занятии на основании материалов и знаний, полученных на лекциях, а также при изучении основной и дополнительной литературы. Для подготовки к данному оценочному мероприятию студенту необходимо подготовить устные ответы на вопросы собеседования, либо законспектировать данные ответы в тетрадь. При подготовке к испытанию студенту предоставляется право пользоваться своими конспектами.

При проверке задания, оцениваются полнота раскрытия проблемы, использование различных источников информации, четкость изложения ответа.

При проверке задания, оцениваются:

- правильность ответов;
- чёткое знание терминологии;
- умение грамотно, четко и последовательно излагать материал;
- использование дополнительной литературы при подготовке;
- умение анализировать теоретический материал и сопоставлять его с практикой;
- умение приводить конкретные примеры.

Критерии оценивания компетенций

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если студент дал полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, при этом показана совокупность осознанных знаний по теме дисциплины, доказательно раскрыты основные положения вопроса; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий. Ответ изложен литературным языком с использованием технической терминологии. Могут быть допущены недочеты в определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если студент дал полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, при этом показано умение выделить существенные и

несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен литературным языком с использованием технической терминологии. Могут быть допущены 2-3 неточности или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если студент дал недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками по вопросу. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь обсуждаемого вопроса с другими вопросами темы. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная, терминология не используется. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента, или ответ на вопрос полностью отсутствует или студент отказался от ответа.

5. Методические указания для обучающихся по освоению учебной дисциплины

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем практических занятий, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить следующие виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации, которые приведены в конце методических указаний.

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Рекомендуемые источники информации (№ источника)		
		Основная	Дополнительная	Интернет-ресурсы
1	Изучение литературы по темам дисциплины	1-5	1-9	1-4
2	Подготовка к лекциям	1-5	1-9	1-4
3	Подготовка к практическим занятиям	1-5	1-9	1-4
4	Выполнение КП		7-9	1-4

Рекомендации по самостоятельному изучению литературы по темам дисциплины

Самостоятельная работа является важнейшим элементом учебного процесса, так как это один из основных методов освоения учебной дисциплины и овладения навыками профессиональной деятельности.

На лекциях преподаватель знакомит студентов с основными положениями темы, а дальнейшее усвоение материала связано с самостоятельной работой. Развитие умений самостоятельной работы происходит в процессе подготовки к занятиям. Развиваются умения самостоятельного поиска, отбора и переработки информации. Этому способствуют разные формы постановки заданий для подготовки к занятию – количество вопросов и их формулировка, указание конкретных источников, разделов, страниц – или предоставление студентам возможности самостоятельного поиска. Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, статистическими данными является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме.

Рекомендации по подготовке к лекционным занятиям

Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Студентам необходимо:

- вести конспектирование учебного материала, обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. В рабочих конспектах лекций желательно оставлять поля, на которых делаются пометки при изучении рекомендованной литературы;
- перед каждой лекцией просматривать рабочую программу дисциплины, что позволит сэкономить время на записывание темы лекции, ее основных вопросов, рекомендуемой литературы;
- на отдельные лекции приносить соответствующий материал на бумажных носителях, представленный лектором на сайте кафедры или выданный персонально (таблицы, графики, схемы). Данный материал будет охарактеризован, прокомментирован, дополнен непосредственно на лекции;
- перед очередной лекцией необходимо просмотреть по конспекту материал предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Для подготовки к лекциям, а так же для самостоятельного или более глубокого изучения теоретического материала, излагаемого на лекционных занятиях по дисциплине «Основы технологии систем теплогазоснабжения и вентиляции», следует использовать литературу, приведенную в конце методических указаний.

Рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Студентам следует:

- приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию;
- до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;
- при подготовке к практическим занятиям следует обязательно использовать не только лекции, учебную литературу, но и нормативно-техническую документацию в области теплогазоснабжения и вентиляции;
- в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;
- в ходе практического занятия давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов;
- на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Рекомендации по выполнению курсового проекта

Самостоятельная работа студентов включает в себя выполнение курсового проекта, который ориентирован на более глубокое усвоение материала изучаемой дисциплины.

Курсовой проект выполняется студентами на основе самостоятельного изучения рекомендованной литературы, с целью систематизации, закрепления и расширения теоретических знаний, развития творческих способностей студентов, овладения навыками самостоятельной работы с научной, научно-методической, нормативно-правовой литературой, формирования умений анализировать и отвечать на вопросы, поставленные темой работы, делать выводы на основе проведенного анализа.

К выполнению курсового проекта предъявляются следующие требования: задания должны выполняться самостоятельно и представляться в установленный срок, а также соответствовать требованиям по оформлению.

Студентам следует:

- руководствоваться графиком выполнения курсового проекта, определенным рабочей программой дисциплины;

- выполнять все плановые задания, выдаваемые преподавателем для самостоятельного выполнения, и разбирать на практических занятиях и консультациях неясные вопросы.

Курсовой проект выполняется студентом самостоятельно и должен быть представлен к проверке и защите в установленные сроки.

Примерные вопросы к защите КП

1. Солнечное излучение. Основные сведения.
2. Расположение приемника относительно солнца
3. Оценки солнечной энергии
4. Нагревание воды солнечной энергией (типы приемников)
5. Тепловой баланс солнечного приемника
6. Солнечные подогреватели воздуха
7. Солнечные отопительные системы

Критерии оценивания

Оценка **«отлично»** выставляется при выполнении работы в установленные сроки, в полном объеме и на высоком теоретическом уровне. Работа отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлена с соблюдением установленных правил. Студент свободно владеет теоретическим материалом, умеет применить его при решении задач, сформулированных в работе; на все вопросы дает правильные и обоснованные ответы, убедительно защищает свою точку зрения.

Оценка **«хорошо»** выставляется при выполнении работы в установленные сроки, в полном объеме. В работе проработаны все разделы содержательной части, но выводы носят поверхностный характер. Работа оформлена с соблюдением установленных правил, но с незначительными замечаниями. Студент достаточно владеет теоретическим материалом, может применять его самостоятельно или по указанию преподавателя. На большинство вопросов даны правильные ответы, защищает свою точку зрения достаточно обосновано.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при выполнении работы в установленные сроки, в основном правильно, но без достаточно глубокой проработки некоторых разделов. Студент усвоил только основные разделы теоретического материала и по указанию преподавателя (без инициативы и самостоятельности) применяет его практически; на вопросы отвечает неуверенно или допускает ошибки, неуверенно защищает свою точку зрения.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется в случае, если студент не выполняет работу в установленные сроки или выполняет ее с грубыми нарушениями требований по содержанию и оформлению. Заявленная тема работы не раскрыта. Студент не может защитить свои выводы, допускает грубые фактические ошибки при ответах на поставленные вопросы или не отвечает на них.

Рекомендации по подготовке к экзамену

Изучение дисциплины «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии» завершается экзаменом.

Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач.

При подготовке к экзамену по наиболее сложным вопросам, ключевым проблемам и важнейшим понятиям необходимо сделать краткие письменные записи в виде тезисов, планов, определений. Запись включает дополнительные моторные ресурсы памяти.

Особое внимание в ходе подготовки к экзамену следует уделять конспектам лекций, ибо они обладают рядом преимуществ по сравнению с печатной продукцией. Как правило, они более детальные, иллюстрированные, что позволяет оценивать современную ситуацию, отражать самую свежую научную и оперативную информацию, отвечать на вопросы, интересующие аудиторию, в данный момент, тогда как при написании и опубликовании печатной продукции проходит определенное время, и материал быстро устаревает.

В то же время подготовка по одним конспектам лекций недостаточна, необходимо использовать и иную учебную литературу.

Не следует бояться дополнительных и уточняющих вопросов на экзамене. Они, как правило, задаются или помимо экзаменационного вопроса для выявления общей подготовленности студента, или в рамках билета для уточнения высказанной студентом мысли.

Условиями допуска к экзамену являются положительные результаты текущих аттестаций и успешная защита комплекса практических работ по дисциплине.

На экзамен выносится материал в объеме, предусмотренном рабочей программой дисциплины за 3 семестр. Экзамен проводится в устной форме по билетам, утвержденным на заседании кафедры.

Процедура проведения экзамена осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры - в СКФУ, Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам аспирантуры, программам ординатуры – в СКФУ.

Комплект материалов для оценки сформированности умений и знаний представлен в виде экзаменационных билетов. Экзаменационный билет включает в себя 2 теоретических вопроса. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения студентов накануне экзаменационной сессии. Содержание вопросов одного билета относится к различным разделам программы с тем, чтобы более полно охватить материал учебной дисциплины.

Вопросы к экзамену по дисциплине «Использование вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии»

1. Использование ВИЭ. Основные понятия.
 2. Принципы использования ВИЭ
 3. Технические проблемы использования ВИЭ
 4. Солнечное излучение. Основные сведения.
 5. Солнечные подогреватели воздуха
 6. Солнечные отопительные системы
 7. Использование солнечной энергии для охлаждения воздуха. Опреснение воды.
- Солнечный пруд.
8. Концентраторы солнечной энергии
 9. Солнечные системы для получения электроэнергии. Фотоэлементы.
 10. Характеристики ветра
 11. Работа ветроколеса
 12. Расположение приемника относительно солнца
 13. Оценка солнечной энергии
 14. Методика расчета нагревания воды солнечной энергией
 15. Тепловой баланс солнечного приемника
 16. Классификация ветроэнергетических установок
 17. Геотермальная энергия. Общие сведения.
 18. Технологии использования геотермальных ресурсов
 19. Биотопливо
 20. Энергия волн
 21. Преобразование тепловой энергии океана
 22. Аккумулирование энергии
 23. Эксергия
 24. Понятие о термозкономическом анализе

25. Классификация ВЭР
26. Источники ВЭР
27. Утилизационные установки
28. Потребители низкопотенциального тепла
29. Оценка геотермальных ресурсов
30. Составление эксергетических диаграмм состояния
31. Составление термодинамически оптимальных схем теплоиспользующих установок

6. Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы:

Верхоланцев, А. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / А. А. Верхоланцев, А. А. Куликов, И. В. Иванова ; под редакцией А. А. Верхоланцева. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2022. — 104 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Геотермальная энергия: Ресурсы, разработка, использование / [П. Кругер, К. Отт] ; пер. с англ. А. Е. Святловского . - М. : Мир, 1975. - 354 с.
2. Подготовка геотермальных вод к использованию / Х.Х. Натанов . - М. : Стройиздат, 1980. - 80 с.
3. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии/ Виссарионов В. И. 2004. - 448 с.