

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:45:33

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

1. **Практическое занятие №1.**
Определение термического КПД паросиловой установ
 2. **Практическое занятие №2.**
Определение параметров пара в турбине
 3. **Практическое занятие №3.**
Определение часового расхода топлива на заводской ТЭЦ
 4. **Практическое занятие №4.**
Определение плотности теплового потока
 5. **Практическое занятие №5.**
Определение коэффициентов теплоотдачи
 6. **Практическое занятие №6.**
Определение площади поверхности теплообмена
 7. **Практическое занятие №7.**
Определение поверхности охлаждения конденсатора паровой турбины
 8. **Практическое занятие №8.**
Определение КПД ТЭЦ брутто и нетто по выработке электроэнергии и теплоты
 9. **Практическое занятие №9.**
Определение удельного расхода теплоты для КЭС
- Литература

Описание практических занятий

Практическое занятие №1.

Тема. Определение термического КПД паросиловой установки

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-ЗПК-2

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 1.1

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина. Параметры начального состояния: $p_1 = 20$ бар, $t_1 = 300^\circ\text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,04$ бара. Определить термический КПД.

Рекомендации к решению.

Термический КПД цикла Ренкина равен

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h'_2}.$$

По диаграмме h-s (приложение) находим h_1 , h_2 - энтальпии начального и конечного состояния пара при адиабатном расширении в турбине; h'_2 -

энтальпия питательной воды, $h'_2 = C_p t_H$, где C_p - теплоемкость воды, $C_p = 4,19$

кДж/(кг·К), t_H - температура насыщенного пара в конденсаторе, $t_H = f(p)$.

Задача 1.2

Паровая турбина мощностью $N=12000$ кВт работает при начальных параметрах $p_1 = 80$ бар и $t_1 = 450^\circ\text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,04$ бара. В котельной установке, снабжающей турбину паром, сжигается уголь с теплотой сгорания $Q_H^P = 25$ МДж/кг.

КПД котельной установки равен $\eta_{к.у.} = 0,8$. Температура питательной воды $t_{п.в.} = 90^\circ\text{C}$.

Определить производительность котельной установки и часовой расход топлива при полной нагрузке паровой турбины и условий, что она работает по циклу Ренкина.

Рекомендации к решению.

Удельный расход пара турбины

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Энтальпию h_1 и h_2 находим по h-s диаграмме.

Расход пара паровой турбиной D

$$D_o = Nd_o, \text{ кг/ч},$$

где энтальпия питательной воды $h_{п.в.} = C_p \cdot t_{п.в.}$.

Часовой расход топлива B равен

$$B = \frac{D_o(h_1 - h_{п.в.})}{Q_H^p \cdot \eta_{к.у.}}, \text{ кг/ч}.$$

Практическое занятие №2.

Тема. Определение параметров пара в турбине

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-3_{ПК-2}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 2.1

Параметры пара перед паровой турбиной: $p_1 = 90$ бар, $t_1 = 500^\circ\text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,04$ бара.

Определить состояние пара после расширения в турбине, если ее относительный внутренний КПД $\eta_{oi} = 0,84$.

Рекомендации к решению.

Располагаемый адиабатный перепад теплоты равен

$$h_o = h_1 - h_2, \text{ кДж/кг.}$$

Действительный теплоперепад

$$h_i = h_o - h_{oi}, \text{ кДж/кг.}$$

Энтальпия пара за турбиной $h_{2\partial}$

$$h_{2\partial} = h_1 - h_i, \text{ кДж/кг.}$$

Проведя в h - s диаграмме линию постоянной энтальпии $h_{2\partial}$, находим в пересечении с изобарой p_2 точку 2∂ , для которых степень сухости x .

Практическое занятие №3.

Тема. Определение часового расхода топлива на заводской ТЭЦ

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-3_{ПК-2}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 3.1

На заводской ТЭЦ установлены две паровые турбины с противодавлением мощностью $N=4000$ кВт каждая. Весь пар из турбины направляется на производство, откуда он возвращается обратно в котельную в виде конденсата при температуре насыщения.

Турбины работают с полной нагрузкой при следующих параметрах пара:

$$p_1 = 35 \text{ бар}, \quad t_1 = 435^\circ\text{C}, \quad p_2 = 1,2 \text{ бар.}$$

Принимая, что установка работает по циклу Ренкина, определить часовой расход топлива, если КПД котельной $\eta_{к.в.} = 0,84$, а теплота сгорания топлива $Q_H^P = 28500$ кДж/кг.

Рекомендации к решению.

Удельный расход пара d_o равен

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)},$$

где энтальпию h_1 и h_2 находим по h-s диаграмме.

Часовой расход пара, потребляемый турбинами

$$D_o = 2Nd_o, \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, потребляемое производством

$$Q_{пп} = D_o(h_2 - h_2'), \text{ кДж/ч,}$$

где $h_2' = C_p t_H$, а $t_H = f(p_2)$.

Количество теплоты, сообщенного пару в котельной

$$Q = D_o(h_1 - h_2'), \text{ кДж/ч.}$$

Часовой расход топлива B равен

$$B = \frac{Q}{Q_H^P \eta_{кв}}, \text{ кг/ч.}$$

Задача 3.2

Для условий предыдущей задачи подсчитать расход топлива в случае, если вместо комбинированной выработки электрической и тепловой энергии ТЭЦ будет осуществлена раздельная выработка электроэнергии в конденсационной установке и теплоты в котельной низкого давления.

Конечное давление пара в конденсационной установке принять $p_2 = 0,04$ бар.

КПД котельной низкого давления принять тот же, что для котельной высокого давления, $\eta_{к.в.} = 0,84$.

Определить для обоих случаев коэффициент использования теплоты.

Рекомендации к решению.

Удельный расход пара на турбину

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)},$$

где h_1, h_2 находим по h-s диаграмме.

Полный расход пара на турбину

$$D_o = 2Nd_o, \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, сообщенного пару в котельной,

$$Q = D_o(h_1 - h'_2), \text{ кДж/ч,}$$

где $h'_2 = C_p t_n$; $t_n = f(p_2) = 29^\circ\text{C}$, $C_p = 4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.

Расход топлива B_1 в котельной высокого давления

$$B_1 = \frac{Q}{Q_H^P \eta_{KY}}, \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, потребляемого производством Q_{IPP} (задача 4), следовательно, расход топлива в котельной низкого давления

$$B_2 = \frac{Q_{IPP}}{Q_H^P \eta_{KY}}, \text{ кг/ч.}$$

Суммарный расход топлива в обеих котельных установках $B_o = B_1 + B_2$, кг/ч.

Экономия топлива на ТЭЦ в сравнении с раздельной выработкой электроэнергии и теплоты составит

$$\frac{(B_o - B)}{B_o} \cdot 100\%.$$

Коэффициент использования теплоты определяется как отношение всей полезно использованной теплоты ко всей затраченной. Следовательно, в случае комбинированной выработки электроэнергии и теплоты

$$\eta_{к.т.} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{IPP}}{B \cdot Q_H^P \cdot \eta_{к.у.}}.$$

В случае раздельной выработки обоих видов энергии

$$\eta'_{к.т.} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{IPP}}{B_o \cdot Q_H^P \cdot \eta_{к.у.}};$$

$$\eta'_{к.т.} < \eta_{к.т.}$$

Практическое занятие №4.

Тема. Определение плотности теплового потока

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-З_{ПК-2}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 4.1

Определить плотность теплового потока q , Вт/м², проходящего через стенку котла, если толщина ее $\delta_1=20$ мм, коэффициент теплопроводности $\lambda_1=50$ Вт/(м·К); стенка покрыта слоем накипи толщиной $\delta_2=2$ мм, $\lambda_2=1$ Вт/(м·К). Температура на поверхности накипи $t_1 = 250^\circ\text{C}$, на наружной поверхности стенки - $t_3 = 200^\circ\text{C}$.

Найти температуру t_2 в плоскости соприкосновения слоев.

Рекомендации к решению.

Плотность теплового потока q равна

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}, \text{ Вт/м}^2.$$

Температура $t_2 = t_1 - q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2}.$

Практическое занятие №5.

Тема. Определение коэффициентов теплоотдачи

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-З_{ПК-2}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 5.1

Плоская стальная стенка толщиной $\delta = 10$ мм омывается с одной стороны газами с температурой $t_{ж1} = 310^\circ\text{C}$, а с другой изолирована от окружающего воздуха, имеющего температуру $t_{ж2} = 10^\circ\text{C}$, плотно прилегающей к ней пластиной толщиной $\delta_2 = 15$ мм.

Определить плотность теплового потока и температуры поверхностей стенок, если известно, что коэффициент теплопроводности стали $\lambda_1 = 40$ Вт/(м·К), а материала изоляционной пластины $\lambda_2 = 0,15$ Вт/(м·К). Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке $\alpha_1 = 25$ Вт/(м²·К), а от пластины к воздуху $\alpha_2 = 10$ Вт/(м²·К).

Рекомендации к решению.

Полное термическое сопротивление плоской многослойной стенки

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплопередачи $k = \frac{1}{R}$ Вт/(м²·К).

По уравнению теплопередачи плотность теплового потока q

$$q = k(t_{ж1} - t_{ж2}), \text{ Вт/м}^2.$$

Температура t_1 на поверхности стальной стенки

$$t_1 = t_{ж1} - \frac{q}{\alpha_1},$$

на границе между стальной стенкой и изоляционной пластиной

$$t_2 = t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1},$$

на поверхности изоляционной пластины

$$t_3 = t_{ж2} + \frac{q}{\alpha_2}.$$

Задача 5.1

Через трубу диаметром $d = 50$ мм и длиной $\ell = 3$ м со скоростью $w = 0,8$ м/с протекает вода. Определить средний коэффициент теплоотдачи, если средняя температура воды $t_{ж} = 50^\circ\text{C}$, а температура стенки $t_c = 70^\circ\text{C}$.

Рекомендации к решению.

При $t_{ж} = 50^\circ\text{C}$, $\lambda_{ж} = 0,648$ Вт/(м·К), $\nu_{ж} = 5,56 \cdot 10^{-7}$ м²/с,
 $Pr_{ж} = 3,54$, $Pr_c = 2,55$ при $t_c = 70^\circ\text{C}$ (табл. П10 приложения).

Определим режим течения воды:

$$Re = \frac{wd}{\nu_{ж}} = \frac{0,8 \cdot 0,05}{5,56 \cdot 10^{-7}} = 7,2 \cdot 10^4 > 10^4;$$

Режим турбулентный. В этом случае критериальное уравнение имеет вид

$$\overline{Nu}_{d,ж} = 0,021 Re_{d,ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25} \varepsilon_\ell.$$

$$\overline{Nu}_{d,ж} = 0,021 \cdot 7,2 \cdot 10^3 \cdot 1,72 \cdot 1,09 \cdot 1 = 103.$$

$$\overline{Nu}_{d,ж} = \frac{\alpha d}{\lambda_{ж}}, \text{ а } \frac{\overline{Nu}_{d,ж} \cdot \lambda_{ж}}{d} = 3920, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Так как $\frac{\ell}{d} = 60 > 50$, то поправка на влияние длины трубы $\varepsilon_\ell = 1$.

Задача 5.2

Определить, какое количество сухого насыщенного пара давлением 0,198 МПа сконденсируется в стальном горизонтальном трубопроводе диаметром $d=140$ мм на длине $\ell=12$ м, если он находится в кирпичном канале $a \cdot b=0,5 \cdot 0,5$ м, температура стенок канала $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи при естественной конвекции в канале $\alpha_\kappa=12$ Вт/(м²·К).

Рекомендации к решению.

Температура пара $t_H = f(p)$, $t_H = 120^\circ\text{C}$; считать температуру стенки паропровода равной t_H , $t_1 = t_H$.

Боковые поверхности трубы и канала $F_1 = \pi d \ell$; $F_2 = 2(a + b) \cdot \ell$, м².

Коэффициент лучистого теплообмена $\alpha_{\text{л}}$

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\varepsilon_{\text{нр}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_2}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

где $\varepsilon_{\text{нр}}$ - приведенная степень черноты системы, $C_0 = 5,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$

$$\varepsilon_{\text{нр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)};$$

$$\varepsilon_1 = 0,7, \quad \varepsilon_2 = 0,82.$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи от стального паропровода к воздуху в канале

$$a = a_{\text{л}} + a_{\text{к}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Потери теплоты в паропроводе

$$Q = a F_1 (t_1 - t_2), \text{ Вт}.$$

Количество конденсируемого пара

$$D = \frac{Q}{r}, \text{ кг/ч},$$

где $r, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ - скрытая теплота парообразования, выбирают по давлению p из табл. 11 приложения.

Практическое занятие №6.

Тема. Определение площади поверхности теплообмена

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-3_{ПК-2}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 6.1

В теплообменнике $G_2=2$ кг/с воды нагревают от температуры $t'_2 = 20^\circ\text{C}$ до $t'' = 210^\circ\text{C}$ горячими газами, которые при этом охлаждаются от температуры $t'_1 = 410^\circ\text{C}$ до $t''_1 = 250^\circ\text{C}$.

Определить поверхность теплообменника при включении его по схеме прямотока и противотока, если коэффициент теплопередачи $k=32$ Вт/(м²·К).

Рекомендации к решению.

Количество теплоты, полученное водой от газов найдем по уравнению теплового баланса.

$$Q = G_2 C_2 (t'' - t'_2), \text{ Вт.}$$

Среднелогарифмический температурный напор
для прямотока

$$\Delta t_{\text{Л}}^{\text{ПРЯМ}} = \frac{(t'_1 - t'_2) - (t''_1 - t''_2)}{\ln \frac{t'_1 - t'_2}{t''_1 - t''_2}},$$

для противотока

$$\Delta t_{\text{Л}}^{\text{ПРОТ}} = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)}{\ln \frac{t'_1 - t''_2}{t''_1 - t'_2}}.$$

Из уравнения теплопередачи поверхность теплообменника

$$F_{\text{ПРЯМ}} = \frac{Q}{k \Delta t_{\text{Л}}^{\text{ПРЯМ}}}; \quad F_{\text{ПРОТ}} = \frac{Q}{k \Delta t_{\text{Л}}^{\text{ПРОТ}}}.$$

Практическое занятие №7.

Тема. Определение поверхности охлаждения конденсатора паровой турбины

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-3_{ПК-2}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 7.1

Для паровой турбины мощностью $N=1000$ кВт с удельным расходом пара $d_0 = 5,5$ кг/(кВт·ч) определить поверхность охлаждения конденсатора и расход охлаждающей воды, если известно, что кратность охлаждения $m=55$ кг/кг и температура охлаждающей воды на входе в конденсатор $t'_2 = 18^\circ\text{C}$, на выходе $t''_2 = 28^\circ\text{C}$. Температура пара в конденсаторе $t_H = 32,5^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопередачи $k=3700$ Вт/(м²·К).

Рекомендации к решению.

Расход пара турбиной $D = d_0 N$, т/ч. Расход охлаждающей воды $W = Dm$, т/ч. Отводимая в конденсаторе теплота $Q = C_p W(t''_2 - t'_2)$, Дж/ч.

Температурный напор в конденсаторе

$$\Delta t = t_H - \frac{t'_2 + t''_2}{2}.$$

Поверхность охлаждения конденсатора

$$F = \frac{Q}{k\Delta t}, \text{ м}^2.$$

Практическое занятие №8.

Тема. Определение удельного расхода теплоты для КЭС

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-3_{ПК-2}

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 8.1

Определить удельный расход теплоты на выработку 1МДж электроэнергии (для условного топлива) для КЭС с тремя турбогенераторами мощностью $N=75 \cdot 10^3$ кВт каждый и с коэффициентом использования установленной мощности $k_u=0,64$, если станция израсходовала $B=670 \cdot 10^6$ кг/год каменного угля с низшей теплотой сгорания $Q_H^P = 20500$ кДж/кг.

Рекомендации к решению.

Установленная мощность КЭС

$$N_{\text{эс}}^y = 3N, \text{ кВт.}$$

Количество выработанной энергии за год

$$\mathcal{E}^{\text{ВЫР}} = 8760 k_u N_{\text{эс}}^y, \text{ кДж/год.}$$

КПД КЭС брутто

$$\eta_{\text{КЭС}}^{\text{БР}} = \frac{\mathcal{E}^{\text{ВЫР}}}{B Q_H^P}.$$

Удельный расход теплоты на выработку одного МДж электроэнергии (для условного топлива)

$$d_{\text{КЭС}}^{\mathcal{E}} = \frac{1}{\eta_{\text{КЭС}}^{\text{БР}}}, \text{ МДж/МДж.}$$

Практическое занятие №9.

Тема. Определение КПД ТЭЦ брутто и нетто по выработке электроэнергии и теплоты

Цель занятия. формирование у студента компетенций ПК-2, ИД-ЗПК-2

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы:

В результате выполнения практического занятия у студента формируются

Знания:

основные виды энергетических ресурсов, способы преобразования их в электрическую и тепловую энергию; типы электростанций, их конструкции и основные агрегаты.

Умения:

анализировать и оценивать достоинства и недостатки различных электростанций, систем отопления и горячего водоснабжения.

Владения:

навыками расчета основных параметров топлива; навыками расчета теплообменных процессов.

Задача 9.1

Теплоэлектроцентрально израсходовала $B_{ТЭЦ}=92 \cdot 10^6$ кг/год каменного угля с низшей теплотой сгорания $Q_H^P=27500$ кДж/кг, выработав при этом электроэнергию $\mathcal{E}^{ВЫР}=64 \cdot 10^{10}$ кДж/год и отпустив теплоты внешним потребителям $Q^{ОТП}=4,55 \cdot 10^{11}$ кДж/год.

Определить КПД ТЭЦ брутто и нетто по выработке электроэнергии и теплоты, если расход электроэнергии на собственные нужды 6% от выработанной энергии, КПД котельной установки $\eta_{к.у.}=0,87$ и расход топлива на выработку электроэнергии для собственных нужд $B_{с.н.}=4,5 \cdot 10^6$ кг/год. Определить удельные расходы условного топлива на выработку 1 МДж электроэнергии и 1 МДж теплоты.

Рекомендации к решению.

Расход топлива на выработку отпущенной теплоты

$$B_Q = \frac{Q^{ОТП}}{Q_H^P \eta_{к.у.}}, \text{ кг/год.}$$

Расход топлива на выработку электроэнергии

$$B_{\mathcal{E}} = B_{ТЭЦ} - B_Q, \text{ кг/год.}$$

КПД ТЭЦ брутто по выработке электроэнергии

$$\eta_{ТЭЦ}^{ЭБР} = \frac{\mathcal{E}^{ВЫР}}{B_{\mathcal{E}} Q_H^P}.$$

КПД ТЭЦ брутто по выработке теплоты

$$\eta_{ТЭЦ}^{Обр} = \frac{Q^{ОТП}}{B_Q Q_H^P}.$$

Количество отпущенной электроэнергии

$$\mathcal{E}^{ОТП} = \mathcal{E}^{ВЫР} - \mathcal{E}^{с.н.}; \mathcal{E}^{с.н.} = \mathcal{E}^{ВЫР} \cdot 0,06, \text{ кДж/год.}$$

КПД ТЭЦ нетто по отпуску электроэнергии

$$\eta_{ТЭЦ}^{\mathcal{E}^{нетто}} = \frac{\mathcal{E}^{ОТП}}{[(B_{\mathcal{E}} - B_{с.н.})] Q_H^P}.$$

КПД ТЭЦ нетто по отпуску теплоты

$$\eta_{TЭЦ}^{Q_{\text{нетто}}} = \frac{Q^{ОП}}{[(B_Q - B_{C.H.})]Q_H^P}.$$

Удельный расход условного топлива на выработку 1МДж электроэнергии

$$b_{TЭЦ}^{\text{эу}} = \frac{B_{\text{э}} Q_H^P}{29,3 Q_{\text{вып}}}, \text{ кг/МДж.}$$

Удельный расход условного топлива на выработку 1МДж теплоты

$$b_{TЭЦ}^{Q_y} = \frac{B_Q Q_H^P}{29,3 Q^{ОП}}, \text{ кг/МДж.}$$

П. 1 Физические свойства воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^5, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$h_{(\text{П.А.})}, \text{кДж/кг}$	$\frac{\kappa \text{Дж}}{C_p, (\kappa^\circ \text{K})}$	$\lambda \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
50	1,013	988,0	209,3	4,180	0,648	0,556	3,55
60	1,013	983,2	251,1	4,184	0,659	0,479	3,00
70	1,013	977,7	293,0	4,189	0,668	0,415	2,55
80	1,013	971,8	334,9	4,196	0,675	0,366	2,25
90	1,013	965,3	377,0	4,204	0,680	0,326	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	0,684	0,295	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	0,685	0,272	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	0,686	0,252	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	0,686	0,233	1,35
140	3,61	926,1	589,1	4,287	0,685	0,217	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	0,684	0,203	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	0,681	0,191	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	0,676	0,181	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	0,672	0,173	1,03
190	12,55	876,0	807,8	4,459	0,664	0,165	0,965
200	15,55	863,0	852,5	4,505	0,658	0,158	0,932
210	19,08	852,8	897,7	4,555	0,649	0,153	0,915
220	23,2	840,3	943,7	4,614	0,645	0,149	0,898
230	28,3	827,3	990,2	4,685	0,637	0,145	0,88
240	33,48	813,6	1037	4,756	0,628	0,141	0,87
250	40,21	799,2	1086	4,853	0,618	0,137	0,87
260	46,94	784,0	1135	4,949	0,605	0,135	0,86
270	55,56	767,9	1185	5,089	0,590	0,133	0,85

Окончание П. 1 Физические свойства воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^5, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$h_{(\text{пл.})}, \text{кДж/кг}$	$c_p, \frac{\text{кДж}}{(\text{кг}^\circ\text{K})}$	$\lambda, \text{Вт/(м}^\circ\text{K)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
280	64,19	750,7	1237	5,229	0,575	0,131	0,89
290	75,05	732,3	1290	5,486	0,558	0,129	0,92
300	85,92	712,5	1345	5,736	0,540	0,128	0,986

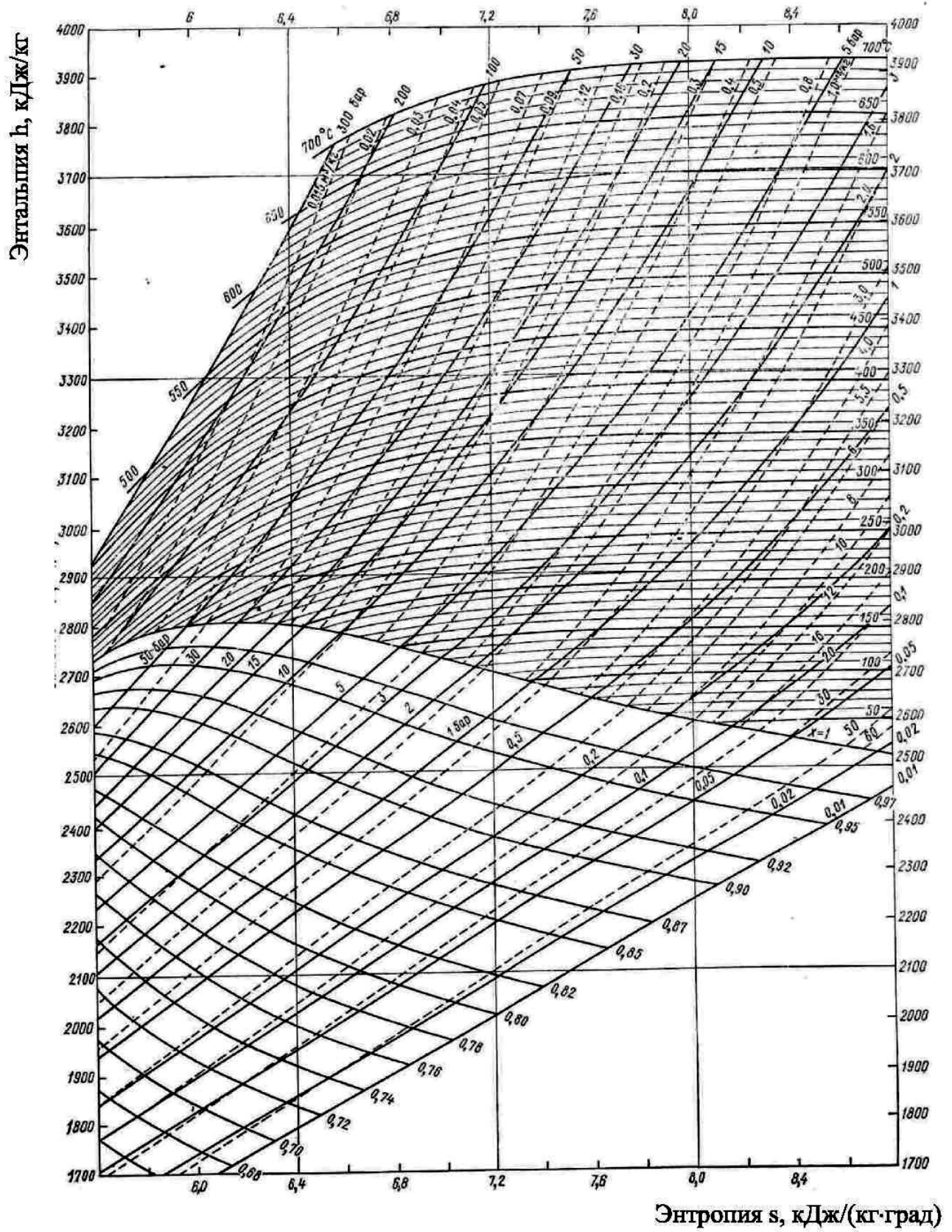
II. 2 Физические свойства водяного пара на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^5, \text{Па}$	$\rho'', \text{кг/м}^3$	$h'', \text{кДж/кг}$	$g, \text{кДж/кг}$	$\lambda \cdot 10^{-2}, \text{Вт(м}^\circ\text{K)}$	$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
100	1,013	0,598	2675,9	2256,8	2,372	20,02	1,08
110	1,43	0,826	2691,4	2230,0	2,489	15,07	1,09
120	1,98	1,121	2706,5	2202,8	2,593	11,46	1,09
130	2,70	1,496	2720,7	2174,3	2,686	8,85	1,11
140	3,61	1,966	2734,1	2145,0	2,791	6,89	1,12
150	4,76	2,547	2746,7	2114,3	2,884	5,47	1,16
160	6,18	3,258	2758,0	2082,6	3,012	4,39	1,18
170	7,92	4,122	2768,9	2049,5	3,128	3,57	1,21
180	10,03	5,157	2778,5	2015,2	3,268	2,93	1,25
190	12,55	6,397	2786,4	1978,8	3,419	2,44	1,30
200	15,55	7,862	2793,1	1940,7	3,547	2,03	1,36

П. 3 Физические свойства сухого воздуха ($P_v = 760$ мм рт. ст. $\approx 1,0110^5$ Па)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \frac{\text{кДж}}{(\text{кг}^\circ\text{C})}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
0	1,293	1,005	2,44	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	23,13	0,688
200	0,746	1,026	3,93	34,85	0,68
300	0,615	1,047	4,61	48,33	0,67
400	0,524	1,068	5,21	63,09	0,68
500	0,456	1,093	5,75	79,38	0,69
600	0,404	1,114	6,22	96,89	0,69
700	0,362	1,135	6,71	115,4	0,71

Диаграмма h-s водяного пара



СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература:

1. Валеев, И. М. Общая электроэнергетика [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. М. Валеев, В. Г. Макаров. — Электрон. текстовые данные. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. — 220 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79339.html>
2. Лебедев, В. А. Теплоэнергетика [Электронный ресурс]: учебник / В. А. Лебедев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2017. — 371 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78140.html>

Дополнительная литература:

1. Общая энергетика [Электронный ресурс]: учебник: в 2 кн. / В.П. Горелов, С.В. Горелов, В.С. Горелов и др. ; под ред. В.П. Горелова, Е.В. Ивановой. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - Кн. 1. Альтернативные источники энергии. - 434 с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447693>
2. Вобликова, Т.В. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]: учебное пособие / Т.В. Вобликова, С.Н. Шлыков, А.В. Пермяков ; ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь : Агрус, 2013. - 212 с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277522>
3. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии) : [учебник] / Г.Ф. Быстрицкий, Г.Г. Гасангаджиев, В.С. Кожиченков. - 2-е изд., стер. - М. : КНОРУС, 2014. - 408 с. - (Бакалавриат). - На учебнике гриф: Доп.УМО. - Библиогр.: с. 403-404. - ISBN 978-5-406-03655-6