

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра промышленной теплоэнергетики**

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Выполнение контрольных работ

Методические указания для студентов заочной формы обучения
по направлению подготовки
13.03.01 — Теплоэнергетика и теплотехника

Составитель
Е. Н. Громова

Санкт-Петербург
2023

Утверждено
на заседании кафедры ПТЭ
01.09.2023 г., протокол № 1

Рецензент О. В. Федорова

Методические указания соответствуют программе и учебному плану дисциплины «Энергосбережение на теплоэнергетических объектах» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника». В указаниях представлен порядок выполнения и оформления контрольных работ. Приведены исходные данные для выполнения работ по вариантам, методики расчетов и справочная информация.

Методические указания предназначены для бакалавров заочной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве
методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 19.09.2023 г. Рег.№ 5247/23

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	5
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	15
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	18
ПРИЛОЖЕНИЯ	19

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины: знакомство с передовыми методами управления производством, передачи и потребления энергии и применяемым энергосберегающим оборудованием; основами проведения энергетических обследований потребителей энергетических ресурсов; типовыми энергосберегающими мероприятиями в энергетических и технологических установках, тепловых и электрических сетях, зданиях и сооружениях.

Задачи дисциплины: приобретение навыков выполнения инженерных расчетов топочных и теплообменных процессов, составления, решения и анализа уравнений материального и теплового балансов, принятия экономически обоснованных решений в области энергосберегающих мероприятий.

В рамках изучения дисциплины «Энергосбережение на теплоэнергетических объектах» обучающийся должен выполнить контрольную работу, состоящую из шести задач. Исходные данные для решения этих задач приводятся в настоящих методических указаниях в соответствующих таблицах. Номер варианта выбирается по последней цифре номера зачетной книжки (индивидуального шифра) студента. Работы, выполненные не по установленному варианту, рассматриваться не будут, они возвращаются студенту без проверки.

Контрольные работы оформляются в рукописном или в печатном виде, на титульном листе обязательно указываются: ФИО студента, шифр, кафедра, наименование изучаемой дисциплины и номер варианта контрольного задания (см. приложение 2).

При выполнении контрольных работ необходимо:

- полностью переписать исходные данные в соответствии с вариантом;
- решение задачи представить в развернутом виде, показывая все подстановки и преобразования.
- размерности исходных данных и вычисленных величин привести в соответствие с международной системой единиц измерения СИ;
- в конце решения выделить ответ.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача № 1. Расчет нагревательной печной установки

Составить уравнение теплового баланса нагревательной печной установки и рассчитать технологический и энергетический коэффициенты полезного действия. Определить относительные потери с уходящими газами, с материалом и в окружающую среду. Схема нагревательной печной установки приведена на рис. 1.

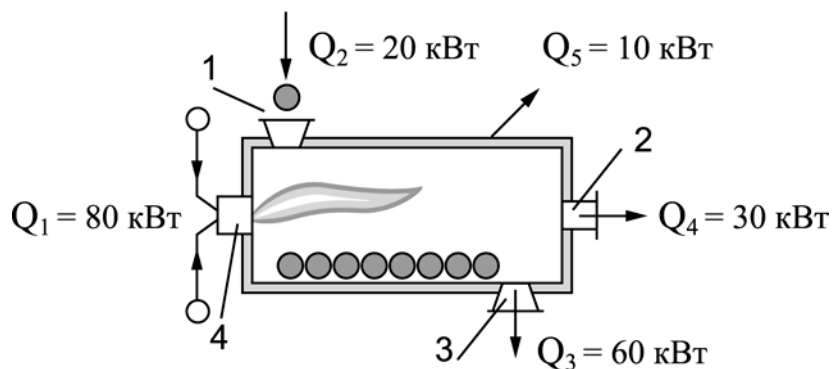


Рис. 1. К расчету теплового баланса нагревательной печной установки:
1 – загрузка материала; 2 – отвод продуктов сгорания; 3 – выгрузка материала;
4 – горелка

Исходные данные:

- тепlopоступления с сушильным агентом $Q_1 = 80$ кВт;
- тепlopоступления с материалом $Q_2 = 20$ кВт;
- тепlopотери с материалом $Q_3 = 60$ кВт;
- тепlopотери с уходящими газами $Q_4 = 30$ кВт;
- тепlopотери в окружающую среду $Q_5 = 10$ кВт;

Решение

Уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5;$$

$$80 + 20 = 60 + 30 + 10.$$

Технологический КПД:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{Q_3 - Q_2}{Q_1 + Q_2} \cdot 100 = \frac{60 - 20}{80 + 20} \cdot 100 = 40 \%$$

Энергетический КПД:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{Q_1 - Q_4}{Q_1 + Q_2} \cdot 100 = \frac{80 - 30}{80 + 20} \cdot 100 = 50 \%$$

Относительные потери с уходящими газами:

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_1 + Q_2} \cdot 100 = \frac{30}{80 + 20} \cdot 100 = 30 \%$$

Относительные потери с материалом:

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_1 + Q_2} \cdot 100 = \frac{60}{80 + 20} \cdot 100 = 60 \%$$

Относительные потери в окружающую среду:

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_1 + Q_2} \cdot 100 = \frac{10}{80 + 20} \cdot 100 = 10 \%$$

Задача № 2. Расчет теплового баланса печной установки

Составить тепловой баланс и рассчитать КПД печной установки без утилизации теплоты уходящих газов и с утилизацией теплоты уходящих газов за счет применения теплофикационного экономайзера. Схема нагревательной печной установки приведена на рис. 2.

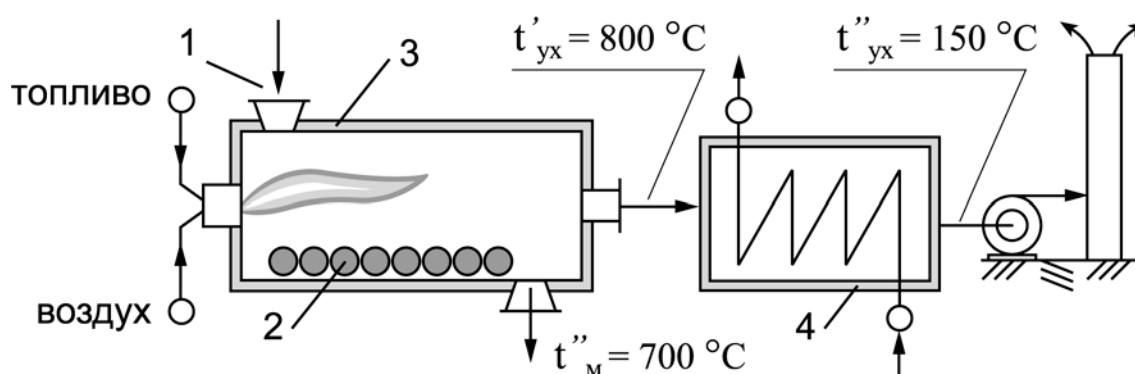


Рис. 2. К расчету нагревательной печной установки с теплофикационным экономайзером:

1 – загрузка заготовок; 2 – заготовки; 3 – рабочая камера;
4 – теплофикационный экономайзер

Исходные данные:

- производительность нагревательной печи $G_M = 1000 \text{ кг/ч}$;
- коэффициент избытка воздуха в рабочей камере $\alpha = 1,1$;
- температура дутьевого воздуха $t_B = 30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- теоретический расход воздуха для горения $V_G^0 = 8,5 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- начальная температура заготовок $t'_M = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- конечная температура нагретых заготовок $t''_M = 700 \text{ }^\circ\text{C}$;
- объем продуктов сгорания (уходящих газов) $V_G = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- температура топлива $t_T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- теплоемкость топлива $C_T = 1,26 \text{ кДж}/(\text{кг }^\circ\text{C})$;

- температура уходящих газов:
- без утилизации теплоты $t'_{yx} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$;
- с утилизацией теплоты $t''_{yx} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение

Физические параметры теплоносителей и материалов:

- средняя теплоемкость стальных заготовок $c_m = 0,46 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$.

Уравнение теплового баланса:

$$Q'_m + Q_T = Q''_m + Q_{yx} + Q_{\text{пот}}$$

Теплота материала (заготовок), поступающих в печь:

$$Q'_m = G_m \cdot c_m \cdot t'_m = \frac{1000}{3600} \cdot 0,46 \cdot 20 = 2,56 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

Теплота, выделяющаяся в результате горения топлива:

$$\begin{aligned} Q_T &= V_T \cdot (Q_i^r + \alpha \cdot V_T^0 \cdot t_B + c_T \cdot t_T) = V_T \cdot (35000 + 1,1 \cdot 8,5 \cdot 30 + 1,26 \cdot 20) \\ &= V_T \cdot 35305,7 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}, \end{aligned}$$

где $Q_i^r = 35000 \text{ кДж}/\text{м}^3$ – теплота сгорания природного газа;

V_T – расход топлива, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Теплота материала (заготовок), нагретых в печи:

$$Q''_m = G_m \cdot c_m \cdot t''_m = \frac{1000}{3600} \cdot 0,46 \cdot 700 = 80,44 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

Теплота уходящих дымовых газов при $t'_{yx} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_{yx}^{800} = V_T \cdot V_T \cdot c_T \cdot t'_{yx} = V_T \cdot 10 \cdot 1,264 \cdot 800 = V_T \cdot 10112 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3},$$

где $c_T = 1,264 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$ – теплоемкость уходящих газов при $t = 800 \text{ }^\circ\text{C}$.

Потери теплоты в окружающую среду принимаем 2 % от теплоты сгорания топлива:

$$Q_{\text{пот}} = 0,02 \cdot Q_i^r \cdot V_T = 0,02 \cdot 35000 \cdot V_T = V_T \cdot 700 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}.$$

На основании уравнения теплового баланса:

$$2,56 + V_T \cdot 35305,7 = 80,44 + V_T \cdot 10112 + V_T \cdot 700.$$

Расход природного газа при $t'_{yx} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$V_T \cdot (35305,7 - 10112 - 700) = 80,44 - 2,56,$$

$$V_T = \frac{86,88}{24494} = 0,0035 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 12,77 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

КПД печной установки при $t'_{yx} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\eta' = \frac{G_M \cdot c_M \cdot (t_M'' - t_M')}{B_T \cdot (Q_i^r + \alpha \cdot V_{\Gamma}^0 \cdot t_B + c_T \cdot t_T) + \frac{G_M}{3600} \cdot c_M \cdot t_M'} \cdot 100$$

$$= \frac{\frac{1000}{3600} \cdot 0,46 \cdot (700 - 20)}{0,0035 \cdot (35000 + 1,1 \cdot 8,5 \cdot 1,005 \cdot 30 + 1,26 \cdot 20) + \frac{1000}{3600} \cdot 0,46 \cdot 20} \cdot 100$$

$$= \frac{86,89}{119,07} \cdot 100 = 0,73 \cdot 100 = 73 \%$$

Теплота уходящих дымовых газов при $t_{yx}'' = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{yx}^{150} = B_T \cdot V_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot t_{yx}'' = B_T \cdot 10 \cdot 1,08 \cdot 150 = B_T \cdot 1620 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3},$$

где $c_{\Gamma} = 1,08 \text{ кДж}/(\text{кг } ^{\circ}\text{C})$ - теплоемкость уходящих газов при $t = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расход природного газа при $t_{yx}'' = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$B_T \cdot (35305,7 - 1620 - 700) = 89,44 - 2,56,$$

$$B_T = \frac{86,88}{32985,7} = 0,0026 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 9,48 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

КПД печной установки при $t_{yx}'' = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\eta'' = \frac{G_M \cdot c_M \cdot (t_M'' - t_M')}{B_T \cdot (Q_i^r + \alpha \cdot V_{\Gamma}^0 \cdot t_B + c_T \cdot t_T) + \frac{G_M}{3600} \cdot c_M \cdot t_M'} \cdot 100$$

$$= \frac{\frac{1000}{3600} \cdot 0,46 \cdot (700 - 20)}{0,0026 \cdot (35000 + 1,1 \cdot 8,5 \cdot 1,005 \cdot 30 + 1,26 \cdot 20) + \frac{1000}{3600} \cdot 0,46 \cdot 20} \cdot 100$$

$$= \frac{86,89}{94,36} \cdot 100 = 0,92 \cdot 100 = 92 \%$$

Задача № 3. Расчет котла-утилизатора

Определить количество пара, вырабатываемого котлом-утилизатором, установленным за мартеновской печью, а также рассчитать годовую экономию топлива (природного газа). Расчетная схема водотрубного котла-утилизатора приведена на рис. 3.

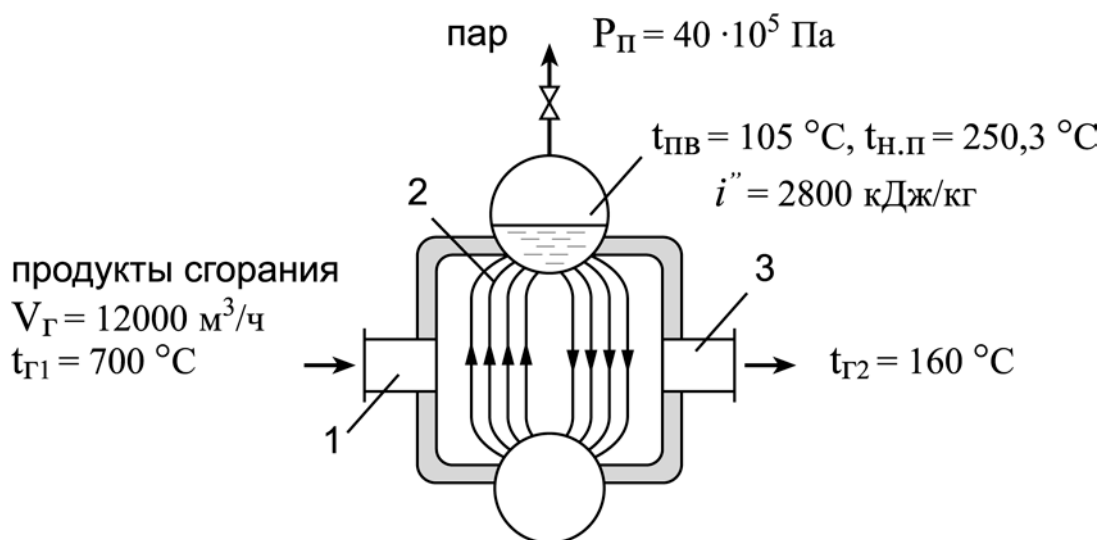


Рис. 3. Расчетная схема водотрубного котла-утилизатора:
1 – вход продуктов сгорания; 2 – конвективный пучок; 3 – выход газов

Исходные данные:

- начальная температура газов $t_{г1} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$;
- конечная температура газов $t_{г2} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$;
- объемный расход газов $V_{г} = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- давление пара, вырабатываемого котлом-утилизатором $P_{п} = 40 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (40 ата).

Решение:

Физические параметры теплоносителей:

средняя температура газов:

$$t_{г}^{cp} = \frac{t_{г1} + t_{г2}}{2} = \frac{700 + 160}{2} = 430 \text{ }^\circ\text{C};$$

тогда плотность газов при $t_{г}^{cp} = 430 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\rho_{г} = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 430} = 0,502 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

теплоемкость газов при $t_{г}^{cp} = 430 \text{ }^\circ\text{C}$ $c_{г} = 1,16 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$;

По приложению 1:

энтальпия пара при $P_{п} = 40 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $i'' = 2800,0 \text{ кДж}/\text{кг}$;

температура насыщения пара $t_{н.п} = 250,3 \text{ }^\circ\text{C}$;

температура питательной воды $t_{п.в} = 105,0 \text{ }^\circ\text{C}$;

энтальпия питательной воды $i' = 440,0 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Уравнение теплового баланса котла-утилизатора:

$$V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot (t_{\Gamma 1} - t_{\Gamma 2}) \cdot \varphi = D \cdot (i'' - i').$$

Количество пара, вырабатываемого котлом-утилизатором:

$$D = \frac{V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot (t_{\Gamma 1} - t_{\Gamma 2}) \cdot \varphi}{(i'' - i')} = \frac{12000 \cdot 0,502 \cdot 1,16 \cdot (700 - 160) \cdot 0,95}{3600 \cdot (2800 - 440)} \\ = 0,422 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 1519 \frac{\text{кг}}{\text{ч}},$$

где $\varphi = 0,95$ – коэффициент использования теплоты.

Количество сэкономленного природного газа за 1 час:

$$V_{\Gamma} = \frac{Q}{Q_i^r \cdot \eta} = \frac{D \cdot (i'' - i')}{Q_i^r \cdot \eta} = \frac{1519 \cdot (2800 - 440)}{35000 \cdot 0,9} = 113,8 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

где $Q_i^r = 35000$ кДж/м³ – теплота сгорания природного газа;

$\eta = 0,9$ – коэффициент полезного действия.

Годовая экономия природного газа:

$$V_{\Gamma}^{\text{год}} = V_{\Gamma} \cdot 24 \cdot 360 = 113,8 \cdot 24 \cdot 360 = 983232 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Стоимость сэкономленного природного газа:

$$S = k \cdot V_{\Gamma}^{\text{год}} = 4,5 \cdot 983232 = 4424544 \frac{\text{руб}}{\text{год}},$$

где $k = 4,5$ руб/м³ – стоимость 1 м³ природного газа.

Задача № 4. Расчет замещения природного газа корьевыми отходами

Определить количество корьевых отходов с влажностью $W_1 = 60\%$, $W_2 = 50\%$, $W_3 = 40\%$, которое необходимо сжечь для замены 1 м³ природного газа.

Исходные данные:

- низшая теплота сгорания природного газа $Q_{i\Gamma}^r = 34360$ кДж/м³;
- низшая теплота сгорания сухих корьевых отходов $Q_{iC}^r = 18680$ кДж/кг;
- теплота парообразования $r = 2500$ кДж/кг;
- КПД выработки пара:
 - на газе $\eta_1 = 0,92$;
 - на корьевых отходах $\eta_2 = 0,8$.

Решение

Низшая теплота сгорания корьевых отходов:

- с влажностью $W_1 = 60\%$

$$Q_i^r = \frac{1}{100} \cdot [Q_{ic}^r \cdot (100 - W_1) - r \cdot W_1] = \frac{1}{100} \cdot [18680 \cdot (100 - 60) - 2500 \cdot 60]$$

$$= 5972 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

- с влажностью $W_2 = 50 \%$

$$Q_i^r = \frac{1}{100} \cdot [Q_{ic}^r \cdot (100 - W_2) - r \cdot W_2] = \frac{1}{100} \cdot [18680 \cdot (100 - 50) - 2500 \cdot 50]$$

$$= 8090 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

- с влажностью $W_3 = 40 \%$

$$Q_i^r = \frac{1}{100} \cdot [Q_{ic}^r \cdot (100 - W_3) - r \cdot W_3] = \frac{1}{100} \cdot [18680 \cdot (100 - 40) - 2500 \cdot 40]$$

$$= 10208 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

Расход корьевых отходов для замещения 1 м^3 природного газа:

- с влажностью $W_1 = 60 \%$

$$B_{\tau 1} = \frac{Q_{ig}^r \cdot \eta_1}{Q_i^r \cdot \eta_2} = \frac{34360 \cdot 0,92}{5972 \cdot 0,8} = 6,6 \frac{\text{кг коры}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}};$$

- с влажностью $W_2 = 50 \%$

$$B_{\tau 2} = \frac{Q_{ig}^r \cdot \eta_1}{Q_i^r \cdot \eta_2} = \frac{34360 \cdot 0,92}{8090 \cdot 0,8} = 4,88 \frac{\text{кг коры}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}};$$

- с влажностью $W_3 = 40 \%$

$$B_{\tau 3} = \frac{Q_{ig}^r \cdot \eta_1}{Q_i^r \cdot \eta_2} = \frac{34360 \cdot 0,92}{10208 \cdot 0,8} = 3,87 \frac{\text{кг коры}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}}.$$

Задача № 5. Расчет экономии топлива при сушке бумаги

Рассчитать экономию природного газа на сушку бумаги, если понизить температуру отработавшей паровоздушной смеси от $80 \text{ }^\circ\text{C}$ до $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Схема сушильной части бумагоделательной машины приведена на рис. 4.

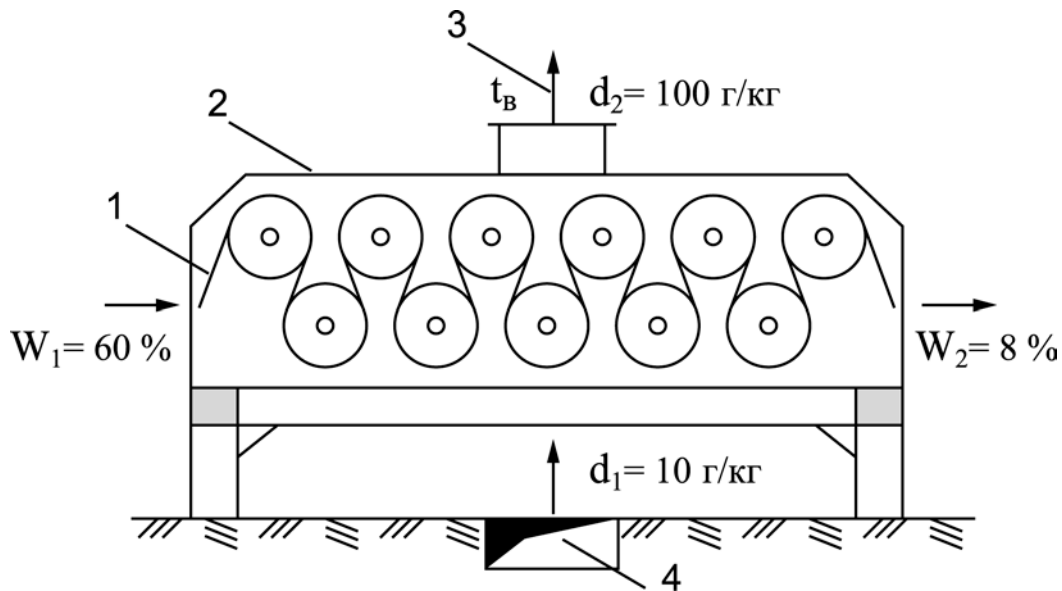


Рис. 4. Схема сушильной части бумагоделательной машины:
 1 – бумажное полотно; 2 – вентиляционный колпак; 3 – отвод отработавшей паровоздушной смеси; 4 – подвод сушильного воздуха

Исходные данные:

- производительность бумагоделательной машины $G_M = 10$ т/ч;
- начальная влажность бумаги $W_1 = 60$ %;
- конечная влажность бумаги (на накате) $W_2 = 8$ %;
- влагосодержание воздуха, подаваемого в сушильную часть машины $d_1 = 10$ г/кг;
- влагосодержание паровоздушной смеси, удаляемой в окружающую среду $d_2 = 100$ г/кг.

Решение

Массовый расход испаряющейся влаги:

$$M_{\text{вл}} = G_M \cdot \left(\frac{W_1}{100 - W_1} - \frac{W_2}{100 - W_2} \right) = 10000 \cdot \left(\frac{60}{100 - 60} - \frac{8}{100 - 8} \right) = 14100 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Массовый расход воздуха, подаваемого в сушильную часть машины:

$$L_B = \frac{M_{\text{вл}} \cdot 1000}{d_2 - d_1} = \frac{14100 \cdot 1000}{100 - 10} = 156,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 43,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Энтальпия влажного воздуха (паровоздушной смеси) при $t_B = 80$ °С и $d_2 = 100$ г/кг

$$I_1 = c_B \cdot t_B + (2500 + c_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}}) \cdot \frac{d_2}{1000} = 1,005 \cdot 80 + (2500 + 1,8 \cdot 80) \cdot \frac{100}{1000}$$

$$= 344,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

где $c_{\text{п}} = 1,8 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ – теплоемкость пара;

$c_B = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ – теплоемкость воздуха.

Расход теплоты при $t_B = 80 \text{ }^\circ\text{С}$ и $d_2 = 100 \text{ г}/\text{кг}$:

$$Q_1 = L_B \cdot I_1 = 43,5 \cdot 344,5 = 15000 \text{ кВт}.$$

Энтальпия влажного воздуха (паровоздушной смеси) при $t_B = 70 \text{ }^\circ\text{С}$ и $d_2 = 100 \text{ г}/\text{кг}$:

$$I_2 = 1,005 \cdot 70 + (2500 + 1,8 \cdot 70) \cdot \frac{100}{1000} = 333,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Расход теплоты при $t_B = 70 \text{ }^\circ\text{С}$ и $d_2 = 100 \text{ г}/\text{кг}$:

$$Q_2 = L_B \cdot I_2 = 43,5 \cdot 333,0 = 14500 \text{ кВт}.$$

Годовая экономия теплоты

$$\Delta Q_{\text{год}} = 3600 \cdot (Q_1 - Q_2) \cdot 24 \cdot 360 = 3600 \cdot (15000 - 14500) \cdot 24 \cdot 360$$

$$= 1,56 \cdot 10^9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Годовая экономия топлива:

$$\Delta V_{\text{т}} = \frac{\Delta Q_{\text{год}}}{Q_i^r \cdot \eta} = \frac{1,56 \cdot 10^9}{35000 \cdot 0,9} = 49500 \frac{\text{м}^3}{\text{год}},$$

где $\eta = 0,9$ – коэффициент полезного действия;

$Q_i^r = 35000 \text{ кДж}/\text{м}^3$ – теплота сгорания природного газа.

Стоимость сэкономленного природного газа:

$$S = k \cdot \Delta V_{\text{т}} = 4,5 \cdot 49500 = 222500 \frac{\text{руб}}{\text{год}},$$

где $k = 4,5 \text{ руб}/\text{м}^3$ – стоимость 1 м^3 природного газа.

Задача № 6. Расчет экономии газообразного топлива

Рассчитать экономию газообразного топлива, если в результате реконструкции КПД котлоагрегата повысился с 80 % до 90 %. Схема котельного агрегата приведена на рис 5.

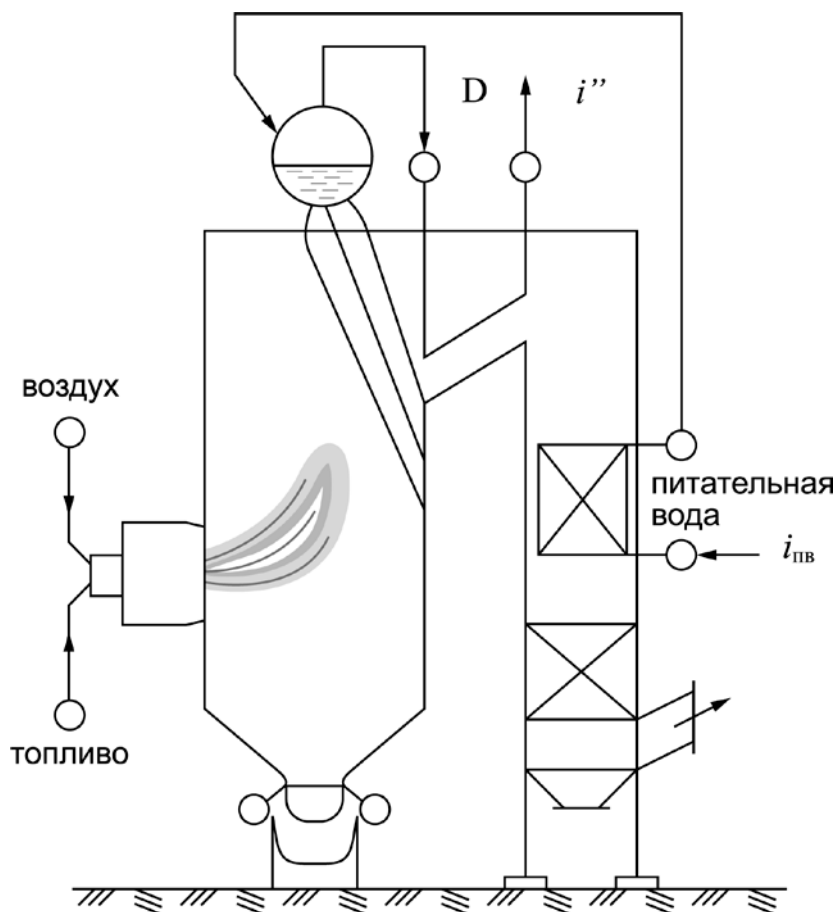


Рис. 5. Схема котельного агрегата

Исходные данные:

- паропроизводительность котлоагрегата $D = 75$ т/ч;
- давление пара $P_{п} = 40$ ата ($40 \cdot 10^5$ Па);
- температура перегретого пара $t_{пе} = 440$ °С;
- температура питательной воды $t_{п.в} = 105$ °С.

Решение

Физические параметры теплоносителей (по приложению 1):
энтальпия перегретого пара $i'' = 3307,7$ кДж/кг;
энтальпия питательной воды $i' = 440,0$ кДж/кг.

Расход топлива при $\eta_1 = 80$ %:

$$V_{T1} = \frac{D \cdot (i'' - i_{пв})}{Q_i^r \cdot \eta_1} = \frac{75000 \cdot (3307,7 - 440,0)}{35000 \cdot 0,8} = 7681 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

где $Q_i^r = 35000$ кДж/м³ – теплота сгорания природного газа.

Расход топлива при $\eta_2 = 90$ %:

$$V_{T2} = \frac{D \cdot (i'' - i_{пв})}{Q_i^r \cdot \eta_2} = \frac{75000 \cdot (3307,7 - 440,0)}{35000 \cdot 0,9} = 6828 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

Годовая экономия топлива:

$$\Delta V_T^{\text{год}} = (V_{T1} - V_{T2}) \cdot 24 \cdot 360 = (7681 - 6828) \cdot 24 \cdot 360 = 7369920 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Стоимость сэкономленного природного газа

Стоимость сэкономленного природного газа

$$S = k \cdot \Delta V_T = 4,5 \cdot 7369920 = 33164640 \frac{\text{руб}}{\text{год}},$$

где $k = 4,5$ руб/м³ – стоимость 1 м³ природного газа.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Решить самостоятельно (по вариантам):

1. Составить уравнение теплового баланса нагревательной печной установки и рассчитать технологический и энергетический коэффициенты полезного действия. Определить относительные потери с уходящими газами, с материалом и в окружающую среду.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Теплопоступления с сушильным агентом, кВт	70	75	80	85	90	95	100	110	120	125
Теплопоступления с материалом, кВт	25	35	25	55	50	40	30	20	25	35
Теплопотери с материалом, кВт	40	50	60	81	85	77	70	76	79	105
Теплопотери с уходящими газами, кВт	45	43	35	50	45	50	44	40	50	45
Теплопотери в окружающую среду, кВт	10	17	10	9	10	8	16	14	16	10

2. Составить тепловой баланс и рассчитать КПД печной установки без утилизации теплоты уходящих газов и с утилизацией теплоты уходящих газов за счет применения теплофикационного экономайзера.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность нагревательной печи, кг/ч	500	600	700	800	900	950	850	750	650	550
Начальная температура заготовок, °С	21	22	23	24	19	20	21	22	23	24
Конечная температура нагретых заготовок, °С	700	660	620	580	540	750	650	550	800	850
Теоретический расход воздуха для горения, м ³ /ч	7	7,5	8	8,5	9	9,5	7	7,5	8	8,5
Объем продуктов сгорания, м ³ /ч	11	10	9	8	9	10	11	12	11	10

Остальные исходные данные взять из примера!

3. Определить количество пара, вырабатываемого водотрубным котлом-утилизатором; давление пара, вырабатываемого котлом-утилизатором 40 ата; температура питательной воды 105 °С.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Начальная температура газов, °С	800	815	820	900	935	1050	980	890	1000	950
Конечная температура газов, °С	148	152	156	160	165	149	156	159	162	150
Объемный расход газов, м ³ /ч	8000	9000	10000	11000	12000	8500	9400	10200	8350	9240

4. Определить количество корьевых отходов с влажностью $W_1 = 60 \%$, $W_2 = 50 \%$, $W_3 = 40 \%$, которое необходимо сжечь для замены 1 м^3 природного газа.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Низшая теплота сгорания природного газа, кДж/ м ³	35620	34821	36033	34170	35006	34320	36190	35901	34669	35365
Низшая теплота сгорания сухих корьевых отходов, кДж/ м ³	17952	18002	18129	16882	17456	19733	18327	18654	15993	17025
КПД выработки пара на газе, %	89	90	91	92	93	94	95	89	90	91
КПД выработки пара на корьевых отходах, %	85	84	83	82	82	80	85	84	83	82

5. Рассчитать экономию природного газа на сушку бумаги, если понизить температуру отработавшей паровоздушной смеси от $80 \text{ }^\circ\text{C}$ до $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность БДМ, т/ч	20	19	18	17	16	15	14	13	12	10
Начальная влажность бумаги, %	80	70	75	60	65	60	70	75	65	80
Конечная влажность бумаги, %	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
Влагосодержание воздуха, подаваемого в сушильную часть, г/кг	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8
Влагосодержание ПВС*, удаляемой в окружающую среду г/кг	125	120	110	115	110	100	105	125	120	110

*ПВС – паровоздушная смесь

6. Рассчитать экономию газообразного топлива, если в результате реконструкции КПД котлоагрегата повысился с 70% до 78% .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Паропроизводительность котлоагрегата, т/ч	100	95	90	85	80	75	70	60	65	55
Температура перегретого пара, $^\circ\text{C}$	450	455	440	435	420	400	350	380	390	400
Температура питательной воды, $^\circ\text{C}$	105	95	105	95	105	95	105	95	105	95
Давление пара, ата	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бельский, А. П. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Текст]: учебное пособие / А. П. Бельский, В. Ю. Лакомкин, С. Н. Смородин. – 3-е изд., испр.; М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП, 2012. – 136 с.
2. Лакомкин, В. Ю. Тепломассообменное оборудование предприятий (Сушильные установки) [Текст]: учебное пособие / В. Ю. Лакомкин, С. Н. Смородин, Е. Н. Громова. – ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2016. – 142 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица термодинамических свойств воды и пара на линии насыщения

P, ата	P, МПа	t _н , °C	v', м ³ /кг	v'', м ³ /кг	i' (i _{кип}), кДж/кг	i'' (i _{ин}), кДж/кг	г, кДж/кг
1,0	0,1	99,63	0,0010434	1,6946	417,51	2675,7	2258,2
2,0	0,2	120,23	0,0010608	0,88592	504,7	2706,9	2202,2
3,0	0,3	133,54	0,0010735	0,60586	561,4	2725,5	2164,1
4,0	0,4	143,62	0,0010839	0,46242	604,7	2738,5	2133,8
5,0	0,5	151,85	0,0010928	0,37481	640,1	2748,5	2108,4
6,0	0,6	158,84	0,0011009	0,31556	670,4	2756,4	2086,0
7,0	0,7	164,96	0,0011082	0,27274	697,1	2762,9	2065,8
8,0	0,8	170,42	0,0011150	0,24030	720,9	2768,4	2047,5
9,0	0,9	175,36	0,0011213	0,21484	742,6	2773,0	2030,4
10,0	1,0	179,88	0,0011274	0,19430	762,6	2777,0	2014,4
11,0	1,1	184,06	0,0011331	0,17739	781,1	2780,4	1999,3
12,0	1,2	187,96	0,0011386	0,16320	798,4	2783,4	1985,0
13,0	1,3	191,60	0,0011438	0,15112	814,7	2786,0	1971,3
14,0	1,4	195,04	0,0011489	0,14072	830,1	2788,4	1958,3
15,0	1,5	198,28	0,0011538	0,13165	844,7	2790,4	1945,7
16,0	1,6	201,37	0,0011586	0,12368	858,6	2792,2	1933,6
17,0	1,7	204,30	0,0011633	0,11661	871,8	2793,8	1922,0
18,0	1,8	207,10	0,0011678	0,11031	884,6	2795,1	1910,5
19,0	1,9	209,79	0,0011722	0,10464	896,8	2796,4	1899,6
20,0	2,0	212,37	0,0011766	0,09953	908,6	2797,4	1888,8
21,0	2,1	214,85	0,0011808	0,09488	919,9	2798,3	1878,4
22,0	2,2	217,24	0,0011850	0,09064	930,9	2799,1	1868,2
23,0	2,3	219,54	0,0011891	0,08676	941,6	2799,8	1858,2
24,0	2,4	221,78	0,0011932	0,08319	951,9	2800,4	1848,5
25,0	2,5	223,94	0,0011972	0,07990	962,0	2800,8	1838,8
26,0	2,6	226,03	0,0012011	0,07685	971,7	2801,2	1829,5

Окончание табл.

Р, ата	Р, МПа	t _н , °С	v', м ³ /кг	v'', м ³ /кг	i' (i _{кип}), кДж/кг	i'' (i _{нп}), кДж/кг	г, кДж/кг
27,0	2,7	228,06	0,0012050	0,07402	981,2	2801,5	1820,3
28,0	2,8	230,04	0,0012088	0,07138	990,5	2801,7	1811,2
29,0	2,9	231,96	0,0012126	0,06892	999,5	2801,8	1802,3
30,0	3,0	233,84	0,0012163	0,06662	1008,4	2801,9	1793,5
31,0	3,1	235,66	0,0012200	0,06446	1017,0	2801,9	1784,9
32,0	3,2	237,44	0,0012237	0,06243	1025,5	2801,8	1776,3
33,0	3,3	239,18	0,0012273	0,06052	1033,7	2801,7	1768,0
34,0	3,4	240,88	0,0012310	0,05872	1041,8	2801,5	1759,7
35,0	3,5	242,54	0,0012345	0,05702	1049,8	2801,3	1751,5
36,0	3,6	244,16	0,0012381	0,05540	1057,6	2801,0	1743,4
37,0	3,7	245,75	0,0012416	0,05388	1065,3	2800,7	1735,4
38,0	3,8	247,31	0,0012451	0,05243	1072,8	2800,3	1727,5
39,0	3,9	248,84	0,0012486	0,05105	1080,2	2799,9	1719,7
40,0	4,0	250,33	0,0012521	0,04974	1087,5	2799,4	1711,9

Образец титульного листа контрольной работы

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ
ИНСТИТУТ ЗАОЧНОГО И ВЕЧЕРНЕГО ОБУЧЕНИЯ**

Направление _____ Группа _____ Шифр _____

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № _____

по _____

Студента _____ курса _____
(фамилия, имя, отчество)

Дата и номер регистрации работы _____