

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Вологодский государственный технический университет

Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

## **КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ**

**Методические указания к курсовому  
и дипломному проектированию**

**Часть 2**

Инженерно-строительный факультет

Специальности: 140104 «Промышленная теплоэнергетика»  
270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция»  
Направления: 140100.62 «Теплоэнергетика» (бакалавриат)  
270800.62 «Строительство» (бакалавриат)

Вологда  
2011

УДК 621.182:658.26(075.8)

**Котельные установки и парогенераторы:** методические указания к курсовому и дипломному проектированию: в 2-х частях. Ч. 2. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – 32 с.

Методические указания предназначены для курсового и дипломного проектирования студентами очной формы обучения по специальности 140104 «Промышленная теплоэнергетика» и 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция», заочной формы обучения по специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция», а также направления 140100.62 «Теплоэнергетика» (бакалавриат) и 270800.62 «Строительство» (бакалавриат). В методических указаниях излагается методика поверочного теплового расчета котельного агрегата. Во второй части приведена методика поверочного теплового расчета фестона и конвективных поверхностей нагрева котлоагрегата: пароперегревателя, котельного пучка, водяного экономайзера и воздухоподогревателя. Задачи непосредственно связаны с лекционным материалом и являются базовыми при изучении дисциплины.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГТУ.

Составители: Сеницын А.А., канд. техн. наук, доцент  
Суванов И.А., аспирант

Рецензент Игонин В.И., д-р техн. наук, профессор

## ВВЕДЕНИЕ

Выполнение курсового или дипломного проекта позволяет закрепить знания, полученные при изучении теоретической части курса, по вопросам теплообмена, топочно-котельной техники; получить навыки по отысканию возможных путей усовершенствования работы котла, пользования нормативными материалами, ГОСТами, справочниками и другой литературой. Такой проект готовит студента к дипломному проектированию и имеет большое значение в его подготовке как высококвалифицированного специалиста. При самостоятельном, творческом подходе к выполнению проекта проверяются способности студента как будущего инженера, его знания, эрудиция и умение принимать технически грамотные решения по вопросам своей профессии.

Методические указания состоят из двух частей. В первой части приведены методика и порядок расчета процессов горения топлива, объемов и энтальпии газов по газходам, теплового баланса котлоагрегата, а также поверочного теплового расчета топки.

Полученные данные используются для расчета фестона и конвективных поверхностей нагрева котлоагрегата: пароперегревателя, котельного пучка, водяного экономайзера и воздухоподогревателя. Во второй части приведена методика поверочного теплового расчета этих поверхностей нагрева. Расчет производится для определения температуры газов, воды и воздуха в конце газоходов, а также необходимой поверхности нагрева пароперегревателя.

Настоящие методические указания предназначены для расчета паровых котлоагрегатов низкого и среднего давления, оборудованных конвективным пароперегревателем, стальным гладкотрубным или чугунным ребристым водяным экономайзером и стальным трубчатым воздухоподогревателем, и могут быть использованы для расчета стальных водогрейных котлоагрегатов. При подготовке методических указаний использованы рекомендации Нормативного метода теплового расчета котельных агрегатов [1]. Необходимые для расчета конструктивные характеристики котлоагрегатов приведены в [2,3,4].

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В основе теплового расчета фестона, котельного пучка, конвективного пароперегревателя, водяного экономайзера и рекуперативного воздухоподогревателя лежит 2 уравнения:

- уравнение теплового баланса (1), характеризующее количество теплоты  $Q_6$ , отданной газами в газоходе, и
- уравнение теплопередачи (2), характеризующее количество теплоты  $Q_T$ , переданной греющим агентом, т.е. дымовыми газами, нагреваемому теплоносителю, т.е. воде, пароводяной смеси, пару или воздуху:

$$Q_6 = \varphi \cdot B_p (H' - H'' + \Delta\alpha H_{x.г.}^o), \text{ ккал/ч}; \quad (1)$$

$$Q_T = kH\Delta t, \text{ ккал/ч}, \quad (2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сохранения теплоты;

$B_p$  – расчетный расход топлива, кг/ч или м<sup>3</sup>/ч;

$H'$  – энтальпия газов на входе в газоход, ккал/кг или ккал/ м<sup>3</sup>;

$H''$  – энтальпия газов на выходе из газохода, ккал/кг или ккал/ м<sup>3</sup>;

$\Delta\alpha$  – присос воздуха в газоходе;

$H_{x.г.}^o$  – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха, ккал/кг или ккал/ м<sup>3</sup>;

$k$  – коэффициент теплопередачи, ккал/( м<sup>2</sup>ч град);

$H$  – величина поверхности нагрева, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – температурный напор, °С.

Для поверочного теплового расчета испарительных поверхностей нагрева – фестона и котельного пучка – достаточно уравнений (1) и (2), поскольку в процессе передачи теплоты в этих газоходах температура нагреваемого агента не изменяется, и температурный напор в них определить несложно. При расчете пароперегревателя, экономайзера и воздухоподогревателя этих уравнений недостаточно, т.к. температура нагреваемого агента в них повышается при движении его в газоходе. Поэтому для определения температуры воды или воздуха в конце газохода и температурного напора к уравнениям (1) и (2) добавляется третье уравнение, характеризующее количество теплоты, воспринятой паром, водой или воздухом в газоходе.

Особенностью тепловосприятия поверхностей нагрева, расположенных в горизонтальном газоходе за топкой (фестона, пароперегревателя, котельного пучка), является то, что они используют не только теплоту, отдаваемую дымовыми газами, конвекцией и излучением непосредственно в данном газоходе, но также и теплоту, переданную лучеиспусканием из топки. Поскольку при расчете теплообмена в топке газывыводящее окно принимается условно за экранированную поверхность с угловым коэффициентом  $x = 1$ , в дальнейших расчетах

поверхностей нагрева, расположенных за топкой, делается поправка на лучеиспускание из топки.

Поверхностный тепловой расчет фестона и конвективных поверхностей нагрева ведется методом последовательных приближений, задаваясь температурой газов за газоходом  $\vartheta''$ , из формулы (1) находят тепловосприятие газохода по уравнению теплового баланса  $Q_6$ , далее определяют значения температурного напора  $\Delta t$ , коэффициента теплопередачи  $k$  и количества теплоты, переданной по уравнению теплопередачи  $Q_T$  по формуле (2). Затем сравнивают полученные значения  $Q_6$  и  $Q_T$ . Если расхождение между ними не превышает  $\pm 2\%$ , т.е. если

$$\frac{Q_6}{Q_T} \times 100 = (98 + 102)\% ,$$

то принятая температура  $\vartheta''$  считается верной, а расчет газохода законченным. В противном случае задаются новым значением  $\vartheta''$  и расчет повторяют. Поскольку поверочный тепловой расчет является достаточно трудоемким, для ускорения его используют графоаналитический метод: задаются двумя значениями температуры газов на выходе из газохода  $\vartheta''_1$  и  $\vartheta''_2$ ; для каждой температуры рассчитывают значения  $Q_6$  и  $Q_T$ , а затем строят графики зависимостей  $Q_6$  и  $Q_T$  от  $\vartheta''$  (рис.1). Точке пересечения прямых линий  $Q_6$  и  $Q_T$  соответствуют равенство значений  $Q_6$  и  $Q_T$  и действительная температура газов на выходе из газохода  $\vartheta''_д$ .

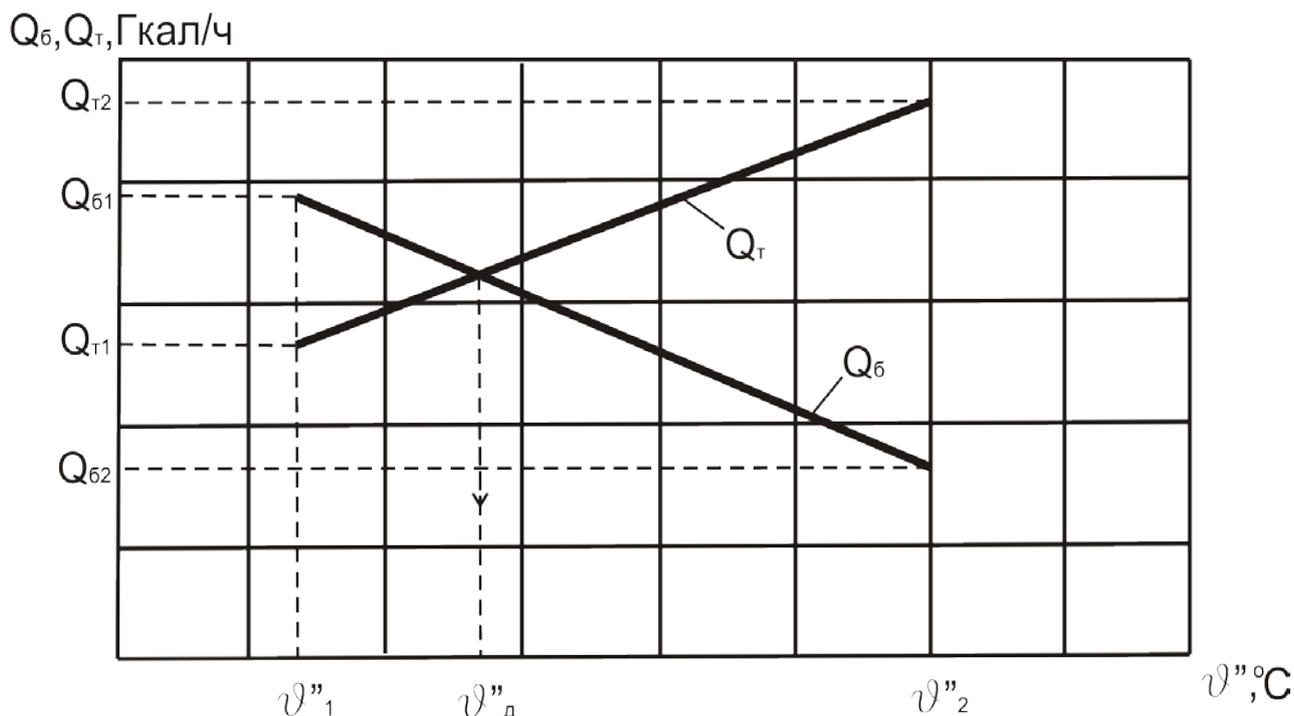


Рис. 1. Графоаналитическое определение температуры газов на выходе из газохода

## 2. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ФЕСТОНА И КОТЕЛЬНОГО ПУЧКА

Целью расчета фестона и котельного пучка является определение температуры дымовых газов на выходе из газохода. Исходные данные для расчета берутся из конструктивных характеристик котла (величина поверхности нагрева  $H$ , диаметр  $d$  и шаги труб  $S_1, S_2$ , расположение труб, число рядов труб по ходу газов  $z$ ) и из предыдущих расчетов (объемы и энтальпии газов, расход топлива  $B_p$ , температура газов на входе  $\vartheta$ ).

В фестоне и котельном пучке имеет место парообразование, поэтому они относятся к испарительным поверхностям нагрева парового котла. Поскольку фестон располагается непосредственно за топочной камерой, в уравнение (1) вносится поправка на теплоту, воспринятую лучеиспусканием из топки  $Q_{л}^{\phi}$ :

$$Q_{б} = \varphi \cdot B_p (H' - H'' + \Delta \alpha H_{xв}^o) - Q_{л}^{\phi}, \text{ ккал/ч.} \quad (3)$$

Величина  $Q_{л}^{\phi}$  определяется из выражения

$$Q_{л}^{\phi} = q_{л}^T F_o x, \text{ ккал/ч,} \quad (4)$$

где  $q_{л}^T$  - удельный лучистый тепловой поток, падающий из топки, ккал/( $\text{м}^2\text{ч}$ );

$F_o$  - площадь газывыводящего окна топки в свету,  $\text{м}^2$ ;

$x$  - угловой коэффициент фестона.

Значение  $q_{л}^T$  приближенно может быть найдено по формуле

$$q_{л}^T \approx \frac{B_p Q_{л}^T}{F_{ст}}, \text{ ккал/(\text{м}^2\text{ч}),} \quad (5)$$

где  $Q_{л}^T$  - количество теплоты, переданной в топке, ккал/кг или ккал/ $\text{м}^3$  (см. табл. 7, ч. I данных методических указаний);

$F_{ст}$  - полная поверхность стен топки,  $\text{м}^2$ .

Угловой коэффициент фестона  $x$  зависит от диаметра труб  $d$ , шагов труб  $S_1, S_2$ , характера их расположения, числа рядов труб по ходу газов  $z$  и находится по номограмме 1 [1].

В случае, если котельный пучок расположен в горизонтальном газоходе за фестонем, при его расчете в формулу (3) вместо  $Q_{л}^{\phi}$  надо внести поправку на тепловосприятие лучеиспусканием из топки  $Q_{л}^k$ . Величина тепловосприятия котельного пучка лучеиспусканием из топки находится по формуле

$$Q_{л}^k = q_{л}^T F_o - Q_{л}^{\phi}, \text{ ккал/ч.}$$

При расчете коэффициента теплопередачи в испарительных поверхностях нагрева учитывается вид топлива и характер расположения труб в пучке. В шахматных пучках при сжигании твердого топлива

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \alpha_1}, \text{ ккал/(\text{м}^2\text{ч}^{\circ}\text{C}),} \quad (6)$$

где  $\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи с газовой стороны, ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^{\circ}\text{C}$ );

$\varepsilon$ - коэффициент загрязнения,  $(\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{С})/\text{ккал}$ .

В коридорных пучках при сжигании твердого топлива и в шахматных и коридорных пучках при сжигании газа и мазута коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле

$$k = \psi \alpha_1, \text{ ккал}/(\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{С}), \quad (7)$$

где  $\psi$  - коэффициент тепловой эффективности.

Коэффициент загрязнения определяется из выражения

$$\varepsilon = C_d C_{\text{фр}} \varepsilon_o + \Delta\varepsilon, \text{ (м}^2\text{ч}^\circ\text{С)/ккал}, \quad (8)$$

где  $C_d$  – поправка на диаметр;

$C_{\text{фр}}$  – поправка на фракционный состав золы;

$\varepsilon_o$  – исходный коэффициент загрязнения,  $(\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{С)/ккал}$ ;

$\Delta\varepsilon$  – поправка, учитывающая наличие очистки поверхности нагрева,  $(\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{С)/ккал}$ ,

Поправка  $C_d$  находится по формуле

$$C_d = \frac{\ln d}{0,7676} + 5,2606,$$

где  $d$  – диаметр труб, м.

Для углей и сланцев  $C_{\text{фр}}=1$ ; для торфа  $C_{\text{фр}}=0,7$ .

Исходный коэффициент загрязнения поперечно омываемых шахматных пучков определяется по формуле

$$\varepsilon_o = 0,0126 \cdot 10^{-nw}, \text{ (м}^2\text{ч}^\circ\text{С)/ккал},$$

где  $w$  – скорость газов, м/с.

$$n_d = 0,052 + 0,094 \left( \frac{d}{S_2} \right)^4,$$

где  $S_2$  – продольный шаг труб, м.

Поправка  $\Delta\varepsilon$  находится с помощью табл.1.

Таблица 1

**Поправка  $\Delta\varepsilon$  [1]**

Наименование поверхности нагрева	Каменные и бурые угли	АШ		Канско-ачинские угли, сланцы с очисткой; фрез-торф без очистки
		С очисткой дробью	Без очистки	
1	2	3	4	5
Первые ступени экономайзеров, одноступенчатые экономайзеры при $\vartheta \leq 400^\circ\text{С}$	0	0	0,002	0
Вторые ступени экономайзеров, одноступенчатые экономайзеры при $\vartheta > 400^\circ\text{С}$ и переходные зоны прямоточных котлов	0,002	0,002	0,005	0,003
Шахматные пучки перегревателей	0,003	0,003	0,005	0,004

При сжигании ирша-бородинских углей с полуразомкнутой или разомкнутой схемой пылеприготовления  $\Delta \varepsilon$  снижается на 0,002.

Значения коэффициентов тепловой эффективности  $\psi$  при сжигании твердых топлив находятся по табл. 2.

При сжигании мазута величина  $\psi$  находится по табл.3.

При сжигании газа  $\psi = 0,9$ , если температура газов перед газоходом  $\vartheta' \leq 400^\circ\text{C}$ ;  $\psi = 0,85$ , если  $\vartheta' > 400^\circ\text{C}$ .

Таблица 2

**Значения коэффициентов тепловой эффективности поверхностей нагрева  $\psi$  при сжигании твердых топлив [1]**

Род сжигаемого топлива	$\psi$
АШ и тощие угли	0,6
Каменные, бурые угли (кроме канско-ачинских), промпродукты каменных углей	0,65
Подмосковный уголь	0,7
Бурые угли Канско-Ачинского месторождения, фрезторф и древесное топливо	0,6

Таблица 3

**Значения коэффициентов тепловой эффективности поверхностей нагрева  $\psi$  при сжигании мазута в зависимости от скорости газов [1]**

Наименование поверхности нагрева	$W_r, \text{ м/с}$	$\psi$
1	2	3
1. Первые и вторые ступени экономайзеров, переходные зоны с очисткой дробью	4-12	0,7-0,65
	12-20	0,65-0,6
2. Перегреватели, котельные пучки, фестоны	4-12	0,65-0,6
	12-20	0,6
3. Экономайзеры котлов малой мощности (при температуре воды на входе $100^\circ\text{C}$ и ниже)	4-12	0,55-0,5

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке находится как

$$\alpha_1 = \xi(\alpha_k + \alpha_l), \text{ ккал}/(\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{C}), \quad (9)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования, учитывающий уменьшение тепловосприятности поверхности нагрева вследствие неравномерного омывания ее газами.

Для водяных экономайзеров и пароперегревателей  $\xi = 1$ . Для фестонов и котельных пучков  $\xi = 0,95$ ;

$\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией, который находится по номограмме 12[1] для коридорных пучков и по номограмме 13[1] для шахматных пучков, ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{C}$ );

$\alpha_l$  – коэффициент теплоотдачи излучением, ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{C}$ ).

Коэффициент теплоотдачи излучением для запыленного потока определяется по формуле

$$\alpha_n = \alpha_u a, \text{ ккал}/(\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{С}); \quad (10a)$$

для незапыленного потока - по формуле

$$\alpha_n = \alpha_u a c_\Gamma, \text{ ккал}/(\text{м}^2\text{ч}^\circ\text{С}), \quad (10б)$$

где  $\alpha_u$  – коэффициент теплоотдачи излучением, определяемый по номограмме 19[1], ккал/(м<sup>2</sup>ч<sup>0</sup>С);

$a$  – степень черноты продуктов сгорания, которая находится по номограмме 2 [1];

$c_\Gamma$  – поправочный коэффициент, который находится по номограмме 19[1].

Коэффициент  $\alpha_n$  зависит от средней температуры газов  $\vartheta = 0,5(\vartheta' + \vartheta'')$  и температуры стенки  $t_{ст}$ , которая определяется температурой нагреваемой среды и степенью загрязнения поверхности нагрева. При расчете испарительных поверхностей нагрева температура нагреваемой среды  $t_{ср}$  равна температуре кипения воды при давлении в барабане; при расчете пароперегревателей и водяных экономайзеров  $t_{ср}$  принимается равной среднеарифметическому значению температур пара или воды на входе и выходе.

Температура загрязненной стенки определяется по формуле

$$t_{cm} = t_{ср} + \Delta t_3, \text{ }^\circ\text{С}, \quad (11)$$

где  $\Delta t_3$  – поправка на загрязнение поверхности нагрева, <sup>0</sup>С.

Для фестонов при сжигании твердых и жидких топлив  $\Delta t_3 = 80^\circ\text{С}$ . Для котельных пучков и экономайзеров при сжигании твердых и жидких топлив при  $\vartheta' > 400^\circ\text{С}$   $\Delta t_3 = 60^\circ\text{С}$ ; при  $\vartheta' \leq 400^\circ\text{С}$   $\Delta t_3 = 25^\circ\text{С}$ . При сжигании газа для всех поверхностей нагрева  $\Delta t_3 = 25^\circ\text{С}$ .

Конвективные пароперегреватели при сжигании твердых и жидких топлив характеризуются величиной поправки, равной

$$\Delta t_3 = \left( \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2^n} \right) \frac{B_p}{H} (Q'_n + Q_l^{n'}), \text{ }^\circ\text{С},$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент загрязнения, определяемый по формуле (8) при сжигании твердых топлив; при сжигании мазута  $\varepsilon = 0,006$  (м<sup>2</sup>ч<sup>0</sup>С)/ккал;

$\alpha_2^n$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к пару, ккал/(м<sup>2</sup>ч<sup>0</sup>С);

$H$  – поверхность нагрева пароперегревателя, м<sup>2</sup>;

$Q'_n$  – количество теплоты, переданной пару, ккал/кг;

$Q_l^{n'}$  – теплота, воспринятая в пароперегревателе излучением из топки, ккал/кг.

Степень черноты продуктов сгорания зависит от их суммарной оптической толщины  $kps$  и может быть найдена или по номограмме 2[1] или по формуле

$$a = 1 - e^{-kps}; \quad (12)$$

$$kps = (k_\Gamma r_a + k_{3л} \mu_{3л}) ps, \quad (13)$$

где  $k_c$  – коэффициент ослабления лучей трехатомными газами, определяемый по номограмме З[1] при средней температуре газов,  $\text{см}^2/(\text{м} \cdot \text{кгс})$ ;

$r_a$  – объемная доля трехатомных газов и водяных паров (см. ч. I, п. 1.1.);

$k_{зл}$  – коэффициент ослабления лучей золовыми частицами (см. ч. I, п. 3.4.);  $\text{см}^2/(\text{м} \cdot \text{кгс})$ ;  $k_{зл}$  рассчитывается при средней температуре газов;

$\mu_{зл}$  – безразмерная концентрация золы в дымовых газах (см. ч. I, п. 1.1.);

$p$  – абсолютное давление в газоходе;  $p = 1 \text{ кгс/см}^2$ ;

$s$  – эффективная толщина излучающего слоя, м.

При расчете котлоагрегата, работающего на газе и мазуте, а также при слоевом и факельно-слоевом сжигании твердых топлив, второе слагаемое в формуле (13) принимается равным нулю. Эффективная толщина излучающего слоя находится по формуле

$$s = 0,9d \left( \frac{4}{\pi} \frac{S_1 S_2}{d^2} - 1 \right), \text{ м}, \quad (14)$$

где  $S_1, S_2$  – соответственно поперечный и продольный шаг труб, м.

Температурный напор в испарительных поверхностях нагрева определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{g' - g''}{\ln \frac{g' - t_n}{g'' - t_n}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (15)$$

где  $t_n$  – температура насыщения при давлении в барабане котла, которая находится по таблицам кипящей воды и сухого насыщенного пара (табл. XXIII[1]),  $^\circ\text{C}$ .

Последовательность поверочного теплового расчета фестона приведена в табл. 4. Этой же таблицей можно воспользоваться и для расчета котельных пучков.

Таблица 4

### Поверочный тепловой расчет фестона

Наименование рассчитываемой величины	Обозн.	Размерность	Расчетная формула или обоснование	Расчет
1	2	3	4	5
А. Блок конструктивных характеристик				
1. Величина поверхности нагрева	H	$\text{м}^2$	Из конструктивных характеристик	
2. Диаметр труб	d	м	-//-	
3. Поперечный шаг труб	$S_1$	м	-//-	
4. Продольный шаг труб	$S_2$	м	-//-	
5. Площадь газывыводящего окна топки в свету	$F_o$	$\text{м}^2$	-//-	
6. Площадь сечения для прохода газов	$F_r$	$\text{м}^2$	-//-	
7. Число рядов труб по ходу газов	z	шт	-//-	

1	2	3	4	5
Б. Определение тепловосприятия газохода по уравнению теплового баланса				
8. Температура газов на входе	$\vartheta'$	°С	Из расчета предыдущего газохода	
9. Энтальпия газов на входе	$H'$	ккал/кг	-//-	
10. Расчетный расход топлива	$V_p$	кг/ч м <sup>3</sup> /ч	табл.6, ч.I	
11. Коэффициент сохранения теплоты	$\phi$	-	-//-	
12. Температура газов на выходе	$\vartheta''$	°С	задаются двумя значениями	
13. Энтальпия газов на выходе	$H''$	ккал/кг, ккал/м <sup>3</sup>	табл.5, ч.I	Далее расчет ведется для двух температур
14. Удельный лучистый тепловой поток, воспринимаемый из топки	$q_{\text{л}}^{\text{т}}$	ккал/м <sup>2</sup> ч		
15. Угловой коэффициент фестона	$\chi$	-		
16. Теплота, воспринятая лучеиспусканием из топки	$Q_{\text{л}}^{\phi}$	ккал/ч		
17. Присос воздуха в фестоне	$\Delta\alpha$	-	табл.4, ч.I	
18. Энтальпия холодного воздуха	$H_{\text{х.в.}}^{\circ}$	ккал/кг, ккал/м <sup>3</sup>	п.2,ч.I	
19. Тепловосприятие фестона по уравнению теплового баланса	$Q_{\delta}$	ккал/ч		
В. Определение коэффициента теплопередачи				
20. Средняя температура газов	$\vartheta$	°С	$0,5(\vartheta' + \vartheta'')$	
21. Объем газов в газоходе	$V_{\text{г}}$	м <sup>3</sup> /кг, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	табл.3, ч.I	
22. Скорость газов в газоходе	$W$	м/с	$\frac{V_{\text{г}} V_p (\vartheta + 273)}{273 \cdot 3600 \cdot F_{\text{г}}}$	
23. Объемная доля водяных паров в продуктах сгорания	$\Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$	-	табл.3, ч.I	
24. Объемная доля трехатомных газов и водяных паров в продуктах сгорания	$\Gamma_{\text{п}}$	-	-//-	
25. Относительный поперечный шаг труб	$\sigma_1$	-	$\frac{S_1}{d}$	
26. Относительный продольный шаг труб	$\sigma_2$	-	$\frac{S_2}{d}$	
27. Коэффициент теплоотдачи конвекцией с газовой стороны	$\alpha_{\text{к}}$	ккал/(м <sup>2</sup> ч°С)		
28. Эффективная толщина излучающего слоя	$s$	м		
29. Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	$k_{\text{г}}$	см <sup>2</sup> /(м·кг гс)		
30. Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{\text{зл}}$	-//-		
31. Безразмерная концентрация золы в дымовых газах	$\mu_{\text{зл}}$	-		

1	2	3	4	5
32. Суммарная оптическая толщина продуктов сгорания	$k_{ps}$	-		
33. Степень черноты продуктов сгорания	$a$	-		
34. Температура нагреваемой среды	$t_{cp}$	$^{\circ}C$		
35. Температура загрязненной стенки	$t_{ct}$	$^{\circ}C$		
36. Коэффициент теплоотдачи излучением от газов к стенке	$\alpha_l$	ккал/(м <sup>2</sup> ч <sup>°C</sup> )		
37. Коэффициент использования поверхности нагрева	$\xi$	-		
38. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1$	ккал/(м <sup>2</sup> ч <sup>°C</sup> )		
39а. Коэффициент загрязнения поверхности нагрева или	$\varepsilon$	-		
39б. Коэффициент тепловой эффективности поверхности нагрева	$\psi$	-		
40. Коэффициент теплопередачи	$k$	ккал/(м <sup>2</sup> ч <sup>°C</sup> )		
Г. Определение температуры газов за газоходом				
41. Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}C$		
42. Количество теплоты, переданной по уравнению теплопередачи	$Q_T$	ккал/ч		
43. Температура газов на выходе	$\vartheta''_d$	$^{\circ}C$	Рис.1	
44. Энтальпия газов на выходе из газохода	$H''_d$	ккал/кг ккал/м <sup>3</sup>		
45. Действительное тепловосприятие по уравнению теплового баланса	$Q_{\delta}^d$	ккал/ч	$V_p \varphi (H' - H''_d + \Delta \alpha H''_{x,b}) - Q$	

Если при расчете котельного пучка не учитывается тепловосприятие из топki, то п.п.14-16 табл.4 исключаются. При расчете поверхности нагрева недостающие формулы или ссылки на номограммы должны быть взяты в таблице в соответствии с рекомендациями данных методических указаний и помещены в графу 4.

### 3. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Целью расчета является определение соответствия поверхности нагрева пароперегревателя изменившимся условиям работы котлоагрегата и нахождение температуры газов за газоходом  $\mathcal{G}''$ . В качестве исходных данных используются паропроизводительность котлоагрегата  $D$ , давление вырабатываемого пара, температура насыщенного  $t_n$  и перегретого пара  $t_{пе}$ , температура газов перед пароперегревателем  $\mathcal{G}'$ , расход топлива  $B_p$ , конструктивные характеристики пароперегревателя: его поверхность нагрева  $H$ , диаметр труб  $d$ , их шаги  $S_1$  и  $S_2$ . В качестве основных уравнений при тепловом поверочном расчете пароперегревателя используются уравнения (1), (2) и уравнение, характеризующее количество теплоты, воспринятой паром в пароперегревателе:

$$Q_n = D \times 10^3 (h_{пе} - h_{нп} + \Delta h_{по}) - Q_l^n, \text{ ккал/ч}, \quad (16)$$

где  $h_{пе}$  - энтальпия перегретого пара, которая находится по табл. XXV [1], ккал/кг;

$h_{нп}$  - энтальпия насыщенного пара (см.табл. XXIII[1]), ккал/кг;

$\Delta h_{по}$  - тепловосприятие пароохладителя, которое принимается равным 20 ккал/кг;

$Q_l^n$  - количество теплоты, воспринятой пароперегревателем лучеиспусканием из топки, ккал/ч.

Если пароперегреватель расположен в вертикальной конвективной шахте, тепловосприятие лучеиспусканием из топки не учитывается. При размещении его в горизонтальном газоходе

$$Q_l^n = q_l^T F_o - Q_l^\phi, \text{ ккал/ч}.$$

Расчет пароперегревателя ведется в следующей последовательности:

– определяют количество теплоты, воспринятой в пароперегревателе по уравнению (16);

– приравняв  $Q_n$  и  $Q_6$ , из уравнения (1) находят энтальпию газов за пароперегревателем  $H''$ , а далее с помощью  $H$ - $\mathcal{G}$ -таблицы определяют температуру газов на выходе из пароперегревателя  $\mathcal{G}''$ ;

– по известным температурам  $\mathcal{G}'$ ,  $\mathcal{G}''$ ,  $t_n$  и  $t_{пе}$  и схеме движения теплоносителей находят температурный напор  $\Delta t$ ;

– рассчитывают коэффициент теплопередачи  $k$ ;

– считая, что  $Q_n = Q_6 = Q_T$ , определяют требуемую величину поверхности нагрева  $H_{тр}$ :

$$H_{тр} = \frac{Q_n}{k \Delta t}, \text{ м}^2;$$

– сравнивая ее с существующей поверхностью нагрева  $H$ , делают вывод о необходимости изменения поверхности нагрева пароперегревателя.

### 3.1. Температурный напор

Температурный напор зависит от взаимного направления движения сред в газоходе. При прямоточной и противоточной схемах температурный напор находится как

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (17)$$

где  $\Delta t_{\delta}$  и  $\Delta t_{\text{м}}$  – соответственно больший и меньший температурный напор,  $^{\circ}\text{C}$ .

Если схема движения теплоносителей отличается от прямоточной или противоточной, то температурный напор определяется по формуле

$$\Delta t = \Psi_1 \Delta t_{\text{прт}}, \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (18)$$

где  $\Psi_1$  – коэффициент пересчета от противоточной схемы к более сложной;

$\Delta t_{\text{прт}}$  – температурный напор при противотоке.

При последовательно-смешанном токе  $\Psi_1$  находится по номограмме 29[1] с помощью безразмерных параметров  $A$ ,  $P$ ,  $R_{\tau}$ .

$$A = \frac{H_{\text{прм}}}{H}; \quad P = \frac{\tau_2}{g' - t'}; \quad R_{\tau} = \frac{\tau_1}{\tau_2},$$

где  $H_{\text{прм}}$  – поверхность нагрева прямоточной части пароперегревателя,  $\text{м}^2$ ;

$\tau_1$  и  $\tau_2$  – полные перепады температур,  $^{\circ}\text{C}$ .

$$\tau_1 = g' - g'', \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\tau_2 = t'' - t', \text{ }^{\circ}\text{C},$$

где  $t'$  и  $t''$  – температуры нагреваемого агента соответственно на входе и выходе,  $^{\circ}\text{C}$ .

По схеме с последовательно смешанным током могут выполняться пароперегреватели и двухколонковые чугунные ребристые водяные экономайзеры.

При перекрестном ходе, когда число ходов не превышает четырех (в противном случае эти схемы рассматриваются как противоточные или прямоточные), коэффициент пересчета  $\Psi_1$  определяется по номограмме 31[1] с помощью безразмерных параметров

$$P = \frac{\tau_{\text{м}}}{g' - t'} \text{ и } R_{\tau} = \frac{\tau_{\delta}}{\tau_{\text{м}}},$$

где  $\tau_{\text{м}}$  и  $\tau_{\delta}$  – полный перепад температур соответственно той среды, где он меньше и той среды, где он больше,  $^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2. Коэффициент теплопередачи

В шахматных трубных пучках при сжигании твёрдых топлив коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \left( \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2^n} \right) \alpha_1}, \text{ ккал}/(\text{м}^2\text{ч } ^\circ\text{C}), \quad (19)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, определяемый в соответствии с формулой (9), ккал/(м<sup>2</sup>ч °С);

$\alpha_2^n$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к пару, который находится по номограмме 15[1], ккал/(м<sup>2</sup>ч °С),

$\varepsilon$  – коэффициент загрязнения, определяемый по формуле (8), (м<sup>2</sup>ч °С)/ккал.

В коридорных пучках при сжигании твердого топлива, а также в коридорных и шахматных пучках при сжигании газа и мазута коэффициент теплопередачи в пароперегревателе рассчитывается как

$$k = \frac{\psi \alpha_1}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2^n}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2\text{ч } ^\circ\text{C}),$$

где  $\psi$  – коэффициент тепловой эффективности поверхности нагрева, который находится в соответствии с рекомендациями раздела 2 данных методических указаний.

Для определения коэффициента теплоотдачи от стенки к пару по номограмме 15[1] необходимо знать скорость движения пара в змеевиках пароперегревателя, которая рассчитывается по формуле

$$W_n = \frac{D \cdot 10^3 V_n}{3600 \cdot F_n} \times = \frac{D \cdot 10^3 V_n}{3600 \cdot 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot n_n}, \text{ м/с}, \quad (20)$$

где  $V_n$  – удельный объем пара, определяемый по табл. XXV [1] при средней температуре и среднем давлении пара, м<sup>3</sup>/кг;

$F_n$  – площадь сечения для прохода пара в пароперегревателе, м<sup>2</sup>;

$d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр труб пароперегревателя, м;

$n_n$  – число параллельно включенных змеевиков пароперегревателя, шт.

### 3.3. Последовательность расчета

В связи со сложностью и трудоемкостью теплового расчета пароперегревателя расчет его рекомендуется выполнять в определенной последовательности, которая изложена в форме табл. 5.

### Поверочный тепловой расчет пароперегревателя

Наименование рассчитываемой величины	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или обоснование	Расчет
1	2	3	4	5
<b>А. Блок конструктивных характеристик</b>				
1. Величина поверхности нагрева	$H$	$m^2$	Из конструктивных характеристик	
2. Диаметр труб	$d$	$m$	-//-	
3. Поперечный шаг труб	$S_1$	$m$	-//-	
4. Продольный шаг труб	$S_2$	$m$	-//-	
5. Площадь газывыводящего окна топки в свету	$F_o$	$m^2$	-//-	
6. Площадь сечения для прохода газов	$F_r$	$m^2$	-//-	
7. Число рядов труб по ходу газов	$z$	шт	-//-	
8. Число параллельных включенных змеевиков	$n_p$	шт	-//-	
<b>Б. Определение температуры газов за газоходом</b>				
9. Температура насыщенного пара	$t_p$	$^{\circ}C$		
10. Температура перегретого пара	$t_{пп}$	$^{\circ}C$	задана	
11. Энтальпия насыщенного пара	$h_{пп}$	ккал/кг		
12. Энтальпия перегретого пара	$h_{пе}$	ккал/кг		
13. Количество теплоты, воспринятой пароперегревателем лучеиспусканием из топки	$Q_{л}^п$	ккал/ч		
14. Количество теплоты, воспринятой паром	$Q_p$	ккал/ч		
15. Температура газов на входе	$\vartheta'$	$^{\circ}C$	Из расчета предыдущего газохода	
16. Энтальпия газов на входе	$H'$	ккал/кг	-//-	
17. Расчетный расход топлива	$B_p$	кг/ч $m^3/ч$	табл.6., ч. I	
18. Коэффициент сохранения теплоты	$\varphi$	-	-//-	
19. Энтальпия газов на выходе из пароперегревателя	$H''$	ккал/кг, ккал/ $m^3$	Из уравнений (1) и (16)	
20. Температура газов за пароперегревателем	$\vartheta''$	$^{\circ}C$		
<b>В. Определение температурного напора</b>				
21. Большой температурный напор	$\Delta t_б$	$^{\circ}C$		
22. Меньший температурный напор	$\Delta t_м$	$^{\circ}C$		
23. Коэффициент пересчета	$\psi_1$	-		
24. Температурный напор	$\Delta t$	$^{\circ}C$		

1	2	3	4	5
Г. Определение коэффициента теплопередачи				
25. Средняя температура газов	$\vartheta$	$^{\circ}\text{C}$	$0,5(\vartheta' + \vartheta'')$	
26. Объем газов в газоходе	$V_{\Gamma}$	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}},$ $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	табл.3, ч.I	
27. Скорость газов в газоходе	$W_{\Gamma}$	м/с	$\frac{V_{\Gamma} \cdot B_p (\vartheta + 273)}{273 \cdot 3600 \cdot F_{\Gamma}}$	
28. Объемная доля водяных паров в продуктах сгорания	$r_{\text{H}_2\text{O}}$	-	табл.3, ч.I	
29. Объемная доля трехатомных газов и водяных паров в продуктах сгорания	$r_a$	-	-//-	
30. Относительный поперечный шаг труб	$\sigma_1$	-	$\frac{S_1}{d}$	
31. Относительный продольный шаг труб	$\sigma_2$	-	$\frac{S_2}{d}$	
32. Коэффициент теплоотдачи конвекций с газовой стороны	$\alpha_k$	ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^{\circ}\text{C}$ )		
33. Эффективная толщина излучающего слоя	$s$	м		
34. Коэффициент ослабления лучей трехмерными газами	$k_{\Gamma}$	$\text{см}^2/(\text{м} \cdot \text{кгс})$		
35. Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами	$k_{\text{зл}}$	-//-		
36. Безразмерная концентрация золы в дымовых газах	$\mu_{\text{зл}}$	-		
37. Суммарная оптическая толщина продуктов сгорания	$k_{\text{ps}}$	-		
38. Степень черноты продуктов сгорания	$a$	-		
39. Температура нагреваемой среды	$t_{\text{ср}}$	$^{\circ}\text{C}$		
40. Температура загрязненной стенки	$t_{\text{ст}}$	$^{\circ}\text{C}$		
41. Коэффициент теплоотдачи излучением от газов к стенке	$\alpha_{\text{л}}$	ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^{\circ}\text{C}$ )		
42. Коэффициент использования поверхности нагрева	$\xi$	-		
43. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1$	ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^{\circ}\text{C}$ )		
44. Площадь сечения для прохода пара в пароперегревателе	$F_{\text{п}}$	$\text{м}^2$		
45. Удельный объем пара	$V_{\text{п}}$	$\text{м}^3/\text{кг}$		
46. Скорость пара в пароперегревателе	$W_{\text{п}}$	м/с		
47. Коэффициент теплопередачи от стенки к пару	$\alpha_2^n$	ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^{\circ}\text{C}$ )		
48. Коэффициент загрязнения или коэффициент тепловой эффективности	$\varepsilon$	-		
	$\psi$	-		
49. Коэффициент теплопередачи	$k$	ккал/( $\text{м}^2\text{ч}^{\circ}\text{C}$ )		
50. Требуемая поверхность нагрева	$H_{\text{тр}}$	$\text{м}^2$		

По результатам расчета пароперегревателя делается вывод о соответствии поверхности нагрева существующего пароперегревателя новым условиям работы котлоагрегата.

#### 4. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

Исходными данными для расчета служат конструктивные характеристики водяного экономайзера: его тип (стальной, гладкотрубный или чугунный ребристый), температура питательной воды, подаваемой в котел, величина поверхности нагрева  $H$ , расход топлива, объем, энтальпия и температура газов перед газоходом. Стальные гладкотрубные экономайзеры характеризуются диаметром  $d$  и шагами  $S_1$  и  $S_2$  труб, характером их расположения в газоходе и числом труб в поперечном и продольном сечениях. Чугунные ребристые экономайзеры характеризуются длиной труб  $l$ , сечением для прохода газов в одной трубе, числом труб в горизонтальном и вертикальном ряду и количеством колонок экономайзера (экономайзеры могут выполняться одно- или двухколонковыми).

Цель расчета водяного экономайзера – определение температуры питательной воды и газов за ним. В основу расчета положены уравнения (1) и (2), к которым добавляется уравнение (21), характеризующее количество теплоты, воспринятой водой в экономайзере:

$$Q_{\text{эк}} = D_{\text{эк}} \times 10^3 (h''_{\text{пв}} - h'_{\text{пв}}), \text{ ккал/ч}, \quad (21)$$

где  $D_{\text{эк}}$  – расход питательной воды, проходящей через водяной экономайзер, т/ч;

$h''_{\text{пв}}$  – энтальпия питательной воды на выходе из экономайзера, ккал/кг;

$h'_{\text{пв}}$  – энтальпия питательной воды на входе в экономайзер, ккал/кг

$$D_{\text{эк}} = D \frac{100 + \Pi}{100}, \text{ т/ч}, \quad (22)$$

где  $\Pi$  – процент непрерывной продувки котла.

За котлами низкого давления, как правило, устанавливаются чугунные ребристые экономайзеры ВТИ. В котлах среднего давления используются стальные гладкотрубные экономайзеры, которые могут применяться также и для котлов низкого давления. Чугунные экономайзеры бывают только некипящего типа; температура воды за ними должна быть ниже температуры кипения как минимум на  $20^\circ\text{C}$ [1]:

$$t''_{\text{пв}} \leq t_{\text{кип}} - 20, \text{ }^\circ\text{C}. \quad (23)$$

Стальные водяные экономайзеры могут быть как кипящего, так и некипящего типа, но процент кипения воды в них  $x_{\text{к}}$  не должен превышать 30%, т.е.

$$x_{\text{к}} = \frac{h''_{\text{пв}} - h_{\text{кип}}}{r} 100 \leq 30\%, \quad (24)$$

где  $h_{\text{кип}}$  - энтальпия кипящей воды при давлении в барабане котла, ккал/кг;  
 $r$  – теплота парообразования, ккал/кг.

Если  $h''_{\text{пв}} > h_{\text{кип}}$ , температура воды за экономайзером определяется как условная по формуле

$$t''_{\text{нв}} = t_{\text{усл}} = t_{\text{кип}} + \frac{h''_{\text{нв}} - h_{\text{кип}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (25)$$

Если котлоагрегат имеет поверхностный пароохладитель, вода из которого возвращается в экономайзер, энтальпия воды на входе определяется как

$$h'_{\text{нв}} = h_{\text{нв}} + \Delta h_{\text{но}} \frac{D_{\text{нв}}}{D_{\text{эк}}}, \text{ ккал/кг}, \quad (26)$$

где  $D_{\text{пв}}$  – расход пара через пароперегреватель, т/ч;

$h_{\text{пв}}$  – энтальпия питательной воды, соответствующая заданной температуре  $t_{\text{пв}}$ , ккал/кг.

Расчет одноступенчатых и I ступени двухступенчатых экономайзеров, для которых температура воды на входе известна, ведется следующим образом:

– задаются двумя температурами газов на выходе из экономайзера  $\vartheta''_1$  и  $\vartheta''_2$  и для этих температур определяют два значения величины  $Q_6$  по уравнению (1);

– приравняв значения полученных величин  $Q_6$  к величине  $Q_{\text{эк}}$ , из уравнения (21) находят два значения  $h''_{\text{пв}}$  и  $t''_{\text{пв}}$ ;

– определяют два значения температурного напора  $\Delta t$  в зависимости от температуры газов, воды и схемы их движения в газоходе (см. рекомендации п. 3.1.);

– находят коэффициент теплопередачи  $k$ ;

– рассчитывают два значения величины  $Q_T$  по уравнению (2);

– строят график зависимостей  $Q_6 = f(\vartheta''_d)$  и  $Q_T = f(\vartheta''_d)$  согласно рис.1 и находят действительную температуру газов на выходе из экономайзера  $\vartheta''_d$ ;

– из рис. 2 находят действительную температуру воды после водяного экономайзера  $t''_{\text{дпв}}$ .

При расчете II ступени двухступенчатых водяных экономайзеров неизвестны температура воды и на входе, и на выходе. Поэтому методика расчета несколько отлична от предыдущей: вначале определяют температуру воды за экономайзером  $t''_{\text{пв}}$  в зависимости от ее энтальпии  $h''_{\text{пв}}$ , которая находится по формуле:

$$h''_{\text{нв}} \approx \frac{D}{D_{\text{эк}}} (h_{\text{нв}} + \Delta h_{\text{но}}) - \frac{B_p}{D_{\text{эк}} 1000} (Q_l^T + Q_\phi + Q_\kappa + Q'_n), \text{ ккал/кг}, \quad (27)$$

где  $Q_l^T, Q_\phi, Q_\kappa, Q'_n$  - количество теплоты, воспринятое поверхностями нагрева соответственно в топке, фестоне, котельном пучке и пароперегревателе, ккал/кг

или ккал/м<sup>3</sup> (значения  $Q_{\phi}$  и  $Q_k$  берутся из табл. 4 п.45. и делятся на расход топлива  $B_p$ ).

Далее из уравнений (1) и (21), принимая во внимание, что  $Q_6 = Q_{\text{эк}}$ , находят энтальпию воды на входе во II ступень экономайзера. Для двух принятых значений температур газов на выходе из газохода последующий расчет выполняется аналогично расчету I ступени экономайзера, в результате чего находят действительную температуру газов  $\vartheta''_d$  за II ступенью экономайзера и действительную температуру воды  $t''_{\text{дпв}}$  на входе во II ступень экономайзера графическим методом с помощью рис.1 и рис.2.

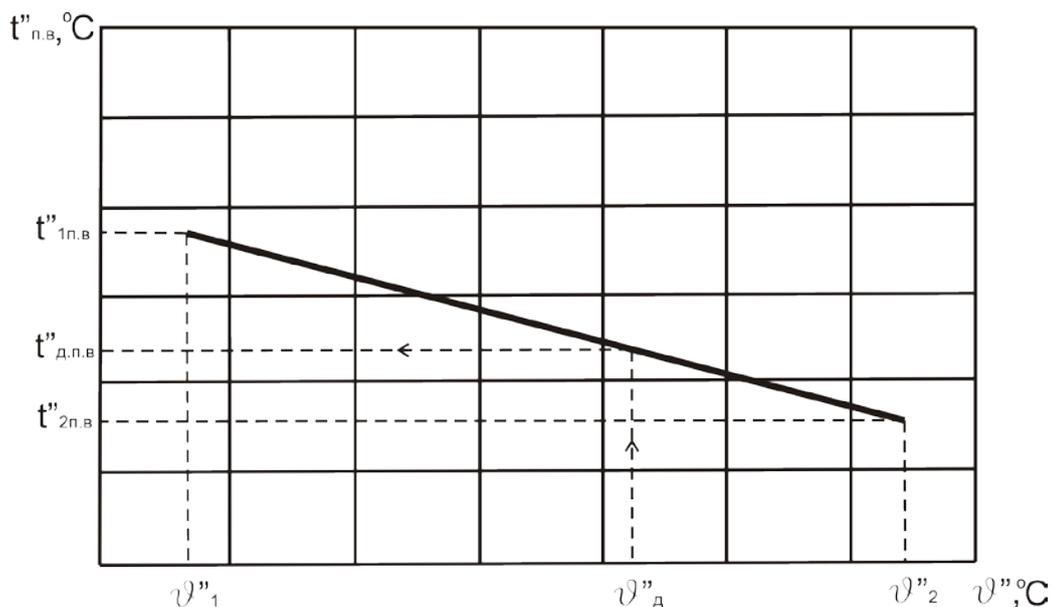


Рис. 2. Графическое определение температуры воды на выходе из экономайзера

При расчете стальных экономайзеров коэффициент теплопередачи  $k$  определяется в зависимости от вида сжигаемого топлива и характера трубных пучков или по формуле (6), или по формуле (7), как и для испарительных поверхностей нагрева.

При расчете чугунных ребристых экономайзеров коэффициент теплопередачи находится в зависимости от скорости движения газов с помощью номограммы 20 [1].

Площадь сечения для прохода газов в стальном экономайзере, также как и в фестоне, котельном пучке и пароперегревателе, находится из выражения

$$F_{\Gamma} = F_{\text{св}} - d_n n_1 l, \text{ м}^2, \quad (28)$$

где  $F_{\text{св}}$  — площадь сечения газохода в свету, м<sup>2</sup>;

$d_n$  — наружный диаметр труб, м;

$n_1$  — число труб в сечении, перпендикулярном направлению движения газов, шт;

$l$  – длина трубы в сечении, перпендикулярном направлению движения газов, м.

Площадь сечения для прохода газов в чугунном ребристом экономайзере определяется по формуле

$$F_r = f_1 n_1, \text{ м}^2, \quad (29)$$

где  $f_1$  – площадь сечения одной трубы для прохода газов, которая находится в зависимости от длины трубы по номограмме 20 [1] м<sup>2</sup>.

Таблица 6

**Расчет температурного напора в одноступенчатом экономайзере  
и в I ступени двухступенчатого экономайзера**

Наименование рассчитываемой величины	Обознач.	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
1	2	3	4	5
1. Температура питательной воды	$t_{пв}$	°С	задана	
2. Энтальпия питательной воды	$h_{пв}$	ккал/кг	Табл. XXIV	
3. Тепловосприятие парохладителя	$\Delta h_{по}$	ккал/кг		
4. Расход пара через пароперегреватель	$D_{пв}$	т/ч	$D_{пв}=D$	
5. Процент непрерывной продувки котла	$\Pi$	%	задан	
6. Расход воды через экономайзер	$D_{эк}$	т/ч		
7. Энтальпия воды на входе в экономайзер	$h'_{пв}$	ккал/кг		
8. Температура воды на входе в экономайзер	$t'_{пв}$	°С		
9. Энтальпия воды на выходе из экономайзера	$h''_{пв}$	ккал/кг	Из уравнений (1) и (21)	
10. Температура воды на выходе из экономайзера	$t''_{пв}$	°С		
11. Большой температурный напор	$\Delta t_б$	°С		
12. Меньший температурный напор	$\Delta t_м$	°С		
13. Температурный напор при противотоке	$\Delta t_{пт}$	°С		
14. Коэффициент пересчета от противоточной схемы к более сложной	$\psi_1$	-		
15. Температурный напор	$\Delta t$	°С		

Расчет водяного экономайзера удобно вести в табличной форме так же, как и расчет фестона (табл.4). В этом случае последовательность расчета сохраняется прежней. Отличия заключаются в том, что при расчете водяного экономайзера не учитывается тепловосприятие лучеиспусканием из топки (п.п. 14, 15, 16 исключаются из расчета), а также в определении температурного напора. Вместо п. 41 надо ввести еще один блок «Определение температурного напора», используя табл.6 или 7.

**Расчет температурного напора во второй ступени двухступенчатого  
экономайзера**

Наименование рассчитываемой величины	Обознач.	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
1	2	3	4	5
1. Паропроизводительность котла	D	т/ч	задана	
2. Процент непрерывной продувки	П	%	задан	
3. Количество воды, проходящей через водяной экономайзер	D <sub>эк</sub>	т/ч		
4. Энтальпия вырабатываемого пара	h <sub>пв</sub>	ккал/кг		
5. Тепловосприятие пароохладителя	Δh <sub>пв</sub>	ккал/кг		
6. Тепловосприятие в топке	Q <sub>л</sub> <sup>т</sup>	ккал/кг, ккал/м <sup>3</sup>	Из расчета топки	
7. Тепловосприятие фестона	Q <sub>ф</sub>	ккал/кг	Из расчета фестона	
8. Тепловосприятие пароперегревателя	Q' <sub>п</sub>	-//-	Из расчета пароперегревателя	
9. Тепловосприятие котельного пучка	Q <sub>к</sub>	-//-	Из расчета котельного пучка	
10. Энтальпия воды на выходе из экономайзера	h'' <sub>пв</sub>	ккал/кг		
11. Температура воды на выходе из экономайзера	t'' <sub>пв</sub>	°C		
12. Энтальпия воды на входе во II ступень экономайзера	h' <sub>пв</sub>	ккал/кг	Из уравнений (1) и (21)	
13. Температура воды на входе во II ступень экономайзера	t' <sub>пв</sub>	°C		
14. Большой температурный напор	Δt <sub>б</sub>	°C		
15. Меньший температурный напор	Δt <sub>м</sub>	°C		
16. Температурный напор при противотоке	Δt <sub>прт</sub>	°C		
17. Коэффициент пересчета от противоточной схемы к более сложной	ψ <sub>1</sub>	-		
18. Температурный напор	Δt	°C		

После определения действительной температуры газов за II ступенью экономайзера путем графического построения, аналогично рис.2, находится температура воды на входе во II ступень, соответствующая этой температуре газов.

## 5. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Поверочный тепловой расчет воздухоподогревателя производится для нахождения значений температур газов  $\vartheta''$  и воздуха  $t''_в$  на выходе из него. Исходные данные берутся из конструктивных характеристик (поверхность нагрева  $H$ , расположение трубок, их диаметр  $d$ , шаги  $S_1$  и  $S_2$ , число ходов по воздуху  $n_2$ , число трубок в направлении воздушного потока  $z$ ) и из предыдущих расчетов (расход топлива  $B_p$ , объем газов в газоходе  $V_{г.}$ , температура  $\vartheta'$  и энтальпия газов  $H'$  на входе в газоход). При расчете одноступенчатого и I ступени двухступенчатого воздухоподогревателя известна также температура воздуха на входе  $t'_в$ . При расчете II ступени величиной  $t''_в$  задаются.

При расчете воздухоподогревателя к двум известным уравнениям (1) и (2) добавляется выражение (30), характеризующее количество теплоты, воспринятой воздухом в воздухоподогревателе  $Q_{вп.}$ :

$$Q_{вп.} = B_p \left( \beta''_в + \frac{\Delta\alpha}{2} \right) (H_g^{o''} - H_g^{o'}), \text{ ккал/ч,} \quad (30)$$

где  $\beta''_в$  – отношение количества воздуха за воздухоподогревателем к теоретически необходимому;

$\Delta\alpha$  – присос воздуха в воздухоподогреватель, равный утечке воздуха с воздушной стороны (величина  $\Delta\alpha$  находится по табл.3, ч.I);

$H_g^{o''}$  – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха на выходе из воздухоподогревателя, ккал/кг или ккал/м<sup>3</sup>;

$H_g^{o'}$  – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха на входе в воздухоподогреватель, ккал/кг или ккал/м<sup>3</sup>.

Величина  $\beta''_в$  находится из выражения

$$\beta''_в = \alpha_t - \Delta\alpha_t - \Delta\alpha_{мп.} \quad (31)$$

Значение коэффициента избытка воздуха в топке  $\alpha_t$  принято ранее (табл.3, ч.I); присосы воздуха в топке  $\Delta\alpha_t$  и системе пылеприготовления  $\Delta\alpha_{мп.}$  находятся по табл. 4, ч.I.

Совместное решение уравнений (1) и (30) позволяет найти температуру воздуха за воздухоподогревателем и температурный напор.

Для определения температуры воздуха после газохода  $t''_в$  задаются двумя значениями температуры газов за воздухоподогревателем  $\vartheta''$  и по формуле (1) определяют количество теплоты, отданной газами,  $Q_б$ . Затем, приравняв значения  $Q_б$  из (1) и  $Q_{вп.}$  из (30), находят величину энтальпии воздуха  $H_g^{o''}$ , после чего с помощью табл.4, ч.I определяют температуру воздуха  $t''_в$ . По температурам  $\vartheta'$ ,  $\vartheta''$ ,  $t'_в$ ,  $t''_в$  определяют температурный напор для перекрестного тока согласно рекомендациям п.3.1.

Коэффициент теплопередачи в трубчатом воздухоподогревателе находится как

$$k = \xi \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}), \quad (32)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования, учитывающий совместное влияние загрязнения труб, неполноты омывания поверхности газами и перетоков воздуха в трубных решетках;

$\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи с газовой стороны, ккал/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ );

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи с воздушной стороны, ккал/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ ).

Коэффициент использования  $\xi$  для одноходовых воздухоподогревателей находится по табл.7, для двух- и трехходовых воздухоподогревателей  $\xi$  снижается на 0,10, для трех-, четырех- и пятиходовых ступеней  $\xi$  снижается на 0,15.

Таблица 8

**Значение коэффициента использования  $\xi$  для одноходовых ступеней воздухоподогревателей [1]**

Топливо	$\xi$	
	Нижние ступени	Верхние ступени
АШ, фрезерный торф	0,8	0,75
Мазут, древесина	0,8	0,85
Остальные топлива	0,85	0,85

При движении дымовых газов в трубках воздухоподогревателя коэффициент теплоотдачи с газовой стороны  $\alpha_1$  учитывает теплообмен конвекцией между газами и стенкой при продольном течении газа и находится с помощью номограммы 14 [1]. Коэффициент теплоотдачи излучением не учитывается, т.к. эффективная толщина излучающего слоя слишком мала.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху определяется с помощью номограммы 13[1] для поперечного омывания шахматных пучков.

Расчет воздухоподогревателя, как и поверочный расчет фестона, котельного пучка и водяного экономайзера, ведут методом последовательных приближений. Для ускорения расчета также задаются двумя значениями температуры газов за газходом, и расчет ведется параллельно для этих температур. Действительную температуру газов и воздуха за воздухоподогревателем находят с помощью рис.1 и графика, построенного аналогично рис.2.

Площадь сечения для прохода газов находят как

$$F_r = n_e \frac{\pi d_{вн}^2}{4}, \text{ м}^2,$$

где  $n_e$  – число трубок воздухоподогревателя, шт;

$d_{вн}$  – внутренний диаметр трубок, м.

Площадь сечения для прохода воздуха определяют так же, как и для газов в предыдущих газоходах.

Поверочный тепловой расчет трубчатого воздухоподогревателя ведется в форме табл.9.

Таблица 9

**Поверочный тепловой расчет трубчатого воздухоподогревателя**

Наименование рассчитываемой величины	Обозн.	Размерность	Формула или обоснование	Расчет
1	2	3	4	5
<b>А. Блок конструктивных характеристик</b>				
1. Величина поверхности нагрева	H	м <sup>2</sup>	Из конструктивных характеристик	
2. Диаметр труб	d	м	-//-	
3. Поперечный шаг труб	S <sub>1</sub>	м	-//-	
4. Продольный шаг труб	S <sub>2</sub>	м	-//-	
5. Площадь сечения для прохода газов	F <sub>г</sub>	м <sup>2</sup>		
6. Число ходов по воздуху	n <sub>2</sub>	-		
7. Площадь сечения для прохода воздуха	F <sub>в</sub>	м <sup>2</sup>		
8. Число труб в направлении движения воздуха	z	шт		
<b>Б. Определение тепловосприятости газохода по уравнению теплового баланса</b>				
9. Температура газов на входе	θ'	°С	Из расчета предыдущего газохода	
10. Энтальпия газов на входе	H'	ккал/кг	-//-	
11. Расчетный расход топлива	B <sub>р</sub>	кг/ч м <sup>3</sup> /ч	табл.6, ч. I	
12. Коэффициент сохранения теплоты	φ	-	-//-	
13. Температура газов на выходе	θ''	°С	задаются двумя значениями	
14. Энтальпия газов на выходе	H''	ккал/кг, ккал/м <sup>3</sup>	табл.5, ч. I	
15. Присос воздуха в воздухоподогревателе	Δα	-	табл.4, ч. I	
16. Энтальпия холодного воздуха	H <sup>о</sup> <sub>хв</sub>	ккал/кг, ккал/м <sup>3</sup>	п.2, ч. I	
17. Тепловосприятость воздухоподогревателя по уравнению теплового баланса	Q <sub>б</sub>	ккал/ч		
<b>В. Определение температурного напора</b>				
18. Температура воздуха перед воздухоподогревателем	t' <sub>в</sub>	°С	задана	
19. Энтальпия воздуха перед воздухоподогревателем	H <sup>о'</sup> <sub>в</sub>	ккал/кг, ккал/м <sup>3</sup>	табл.5, ч. I	
20. Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки	α <sub>т</sub>	-		
21. Присос воздуха в топке	Δα <sub>т</sub>	-		

1	2	3	4	5
22. Присос воздуха в системе пыле-приготовления	$\Delta\alpha_{пп}$	-		
23. Отношение	$\beta''_в$	-		
24. Энтальпия воздуха на выходе	$H''_э$	ккал/кг, ккал/м <sup>3</sup>	$\frac{Q_{\delta}}{B_p \left( \beta''_э + \frac{\Delta\alpha}{2} \right)} + H''_э'$	
25. Температура воздуха на выходе	$t''_в$	°C		
26. Большой температурный напор	$\Delta t_{\delta}$	°C		
27. Меньший температурный напор	$\Delta t_{м}$	°C		
28. Температурный напор при противотоке	$\Delta t_{прт}$	°C		
29. Коэффициент пересчета от противоточной схемы к более перекрестной	$\psi_1$	-		
30. Температурный напор	$\Delta t$	°C		
Г. Определение коэффициента теплопередачи				
31. Средняя температура газов в газоходе	$\vartheta$	°C	$0,5(\vartheta' + \vartheta'')$	
32. Парциальное давление водяных паров	$r_{H_2O}$	-		
33. Скорость газов	$W_{г}$	м/с	$\frac{V_{г} B_p (\vartheta + 273)}{273 \cdot 3600 \cdot F_r}$	
34. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\alpha_1$	ккал/(м <sup>2</sup> ч <sup>0</sup> C)		
35. Средняя температура воздуха	$t_в$	°C	$0,5(t''_в + t''_г)$	
36. Относительный поперечный шаг	$\sigma_1$	-	$\frac{S_1}{d}$	
37. Относительный продольный шаг	$\sigma_2$	-	$\frac{S_2}{d}$	
38. Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	$\alpha_2$	ккал/(м <sup>2</sup> ч <sup>0</sup> C)		
39. Коэффициент использования	$\xi$	-		
40. Коэффициент теплопередачи	$k$	ккал/(м <sup>2</sup> ч <sup>0</sup> C)		
Д. Определение температуры газов и воздуха на выходе из воздухоподогревателя				
41. Количество теплоты, переданной по уравнению теплопередачи	$Q_T$	ккал/ч		
42. Температура газов за воздухоподогревателем	$\vartheta''_д$	°C	рис.1	
43. Температура воздуха за воздухоподогревателем	$t''_д$	°C	рис.2	

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поверочный тепловой расчет котлоагрегата позволяет, рассчитывая газоходы последовательно, начиная с топки, найти температуру газов за последним газоходом, которая ранее была названа температурой уходящих газов  $\vartheta_{ух}$ . После нахождения этой температуры определяют правильность выполненных расчетов. Расчет считается верным, если:

- полученная температура уходящих газов отличается от ранее принятой при расчете теплового баланса котлоагрегата не более чем на  $\pm 10^\circ\text{C}$ ;
- полученная температура горячего воздуха на выходе из воздухоподогревателя отличается от принятой ранее в расчете топки не более чем на  $\pm 40^\circ\text{C}$ ;
- невязки температур воды и воздуха, определенные из расчета обеих ступеней экономайзера и воздухоподогревателя, не более  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

Если расхождение температур больше указанных значений, задаются новыми значениями температур газов, воды и воздуха и расчет повторяют. При этом температуры воды и воздуха на входе во II ступень принимают равными температурам на выходе из первых ступеней, полученным при первом приближении. В случае если при повторном расчете температура газов в начале газохода отличается от прежней не более, чем на  $50^\circ\text{C}$ , коэффициент теплопередачи не пересчитывается; следует рассчитать лишь новые значения тепловосприятия, температурного напора и температуры за газоходом.

Когда все невязки температур доведены до допустимой величины, определяют расчетную невязку теплового баланса котлоагрегата:

$$\Delta Q = Q_p^p \eta_{ха} - (Q_l^t + Q_{\phi} + Q_k + Q'_n + Q_{эк} \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)), \text{ ккал/кг или ккал/м}^3.$$

При правильном выполнении расчета величина  $\Delta Q$  не должна превышать  $0,5\% Q_p^p$ .

Заканчивается поверочный тепловой расчет котлоагрегата составлением сводных данных расчета (табл.10).

Таблица 10

**Сводные данные поверочного теплового расчета котельного агрегата**

Газоход	Температура греющей среды, °С		Температура нагреваемой среды, °С	
	Вход	Выход	Вход	Выход
Топка				
Фестон				
Котельный пучок				
Пароперегреватель				
II ступень экономайзера				
II ступень воздухоподогревателя				
I ступень экономайзера				
I ступень воздухоподогревателя				



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Блинов, Е.А.** Котельные установки и парогенераторы: методические указания к выполнению курсового проекта / Е.А. Блинов. - СПб.: СЗТУ, 2004. - 35 с.
2. **Кузнецов, Н.В.** Тепловой расчет котельных агрегатов / Н.В. Кузнецов, В.М. Гурвич. - М.: Госэнергоиздат, 1973. - 465 с.
3. Теплогенерирующие установки промышленных предприятий : метод. указания к курсовому проекту "Тепловой расчет котельного агрегата" для студентов заоч. формы обучения: ИСФ: спец.: 100700; 290700: в 2 ч. Ч. I / сост.: Е. И. Соколова. - Вологда : ВоПИ , 1999 . - 26 с.
4. Энергетическое топливо СССР: ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий газ: справочник / И.И. Матвеева, Н.В. Новицкий, В.С. Вдовченко и др. – М.: Энергия, 1979. – 129 с.: ил.
5. **Стаскевич, Н.Л.** Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н.Л. Стаскевич, Г.Н. Северинец, Д.Я. Вигдорчик. – Л.: Недра, 1990. – 762 с.: ил.
6. Котельные установки и парогенераторы : метод. указания по изучению дисциплины и для самостоят. работы студентов: ИСФ: специальность 140104 / сост. Синицын А. А. - Вологда: ВоГТУ, 2010. - 39 с.
7. **СТО ВоГТУ 2.7-2006.** Стандарт организации : проекты дипломные и курсовые: общие требования и правила оформления расчетно-пояснительной записки. - Взамен СТП ВПИ 2.7-87: введ. 01.03.2006. - Вологда : ВоГТУ , 2006. - 30 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

(справочное)

Таблица П.1

### Месторождения и состав твердых топлив

№	Месторождение	Марка, класс	Горючая масса, %					
			$S_{к}^Г$	$S_{оп}^Г$	$C^Г$	$H^Г$	$N^Г$	$O^Г$
1	Интауголь	ДР	2,6	1,5	75,0	5,0	2,4	13,5
2	Шахта «Пионер»	ДР	2,6	2,0	75,4	5,0	2,5	12,5
3	Шахта «Глубокая»	ДР	2,0	1,9	76,8	5,2	2,7	11,4
4	Шахта «Капитальная»	ДР	2,9	1,6	74,0	4,8	3,0	13,7
5	Шахта «Западная»	ДР	1,9	0,8	73,7	5,1	2,5	16,0
6	Воркутауголь	ЖР	0,7	0,6	84,0	5,4	2,5	6,8
7	Шахта «Аяч-Яга №14»	ЖР	1,7	0,9	81,6	5,1	2,7	8,0
8	Шахта «Аяч-Яга №16»	ЖР	2,0	0,9	79,7	5,3	2,8	9,3
9	Шахта «Аяч-Яга №17»	Ж	0,7	0,7	84,4	5,4	2,5	7,0
10	Шахта «Аяч-Яга №18»	ЖР	0,5	0,5	85,5	5,4	2,6	6,0
11	Шахта «Аяч-Яга №25»	Ж	0,2	0,5	85,3	5,2	2,6	6,2
12	Шахта «Октябрьская»	Ж	0,2	0,5	83,6	5,3	2,6	7,8
13	Шахта «Заполярная»	Ж	0,7	0,7	85,3	5,4	2,3	6,3
14	Шахта «Юр-Шор»	Ж	0,3	0,6	84,1	5,5	2,5	7,0
15	Шахта «Центральная»	Ж	0,1	0,6	85,2	5,5	2,1	6,5
			$S_{к+оп}^Г, \%$					
16	Кузнецкий бассейн	ДР	0,5		78,3	5,6	2,5	13,1
17		ГР	0,6		81,5	5,7	2,7	9,5
18		Г	0,8		80,0	5,9	2,9	10,4
19		Ж	1,3		84,5	6,0	2,5	5,7
20		КЖ	0,5		86,0	5,5	2,6	5,4
21		К	0,4		87,3	5,1	2,5	4,7
22		ССР	0,7		90,8	4,3	2,1	2,1
23		ОС	1,4		90,0	4,7	2,1	1,8
24	Горловский бассейн	АР	0,4		93,0	2,0	1,3	3,3
25	Эстонсланец	0-300 мм	3,8	1,4	74,0	9,5	0,3	11,0
26	Шахта «Виру»	-	3,7	1,3	75,7	9,5	0,6	9,2
28	Шахта «Ахтма»	-	3,5	1,3	75,7	9,6	0,5	9,4
29	Разрез «Вивиконд»	-	2,9	1,6	73,9	9,2	0,5	11,9
30	Шахта «Сиргала»	-	3,6	1,4	73,4	9,4	0,3	11,9

## Состав жидких топлив

№	Месторождение	Марка, класс	Горючая масса, %				
			С <sup>r</sup>	Н <sup>r</sup>	S <sup>r</sup>	О <sup>r</sup>	Н <sup>r</sup>
1	<b>Мазут топочный</b>	М40	86,4	11,76	1,12	0,41	0,31
2		-	88,21	10,55	0,52	0,47	0,26
3		-	85,69	11,66	2,04	0,38	0,24
4		-	85,39	10,91	3,19	0,31	0,21
5		-	85,6	12,21	1,53	0,46	0,2
6		-	85,02	10,86	2,02	1,82	0,28
7		-	85,72	11,34	2,37	0,38	0,19
8		-	84,81	11,79	2,89	0,3	0,21
9		-	87,12	11,55	0,61	0,41	0,31
10		-	85,98	10,24	3,28	0,31	0,2
11		-	86,34	11,46	1,28	0,61	0,31
12		-	86,22	11,56	1,29	0,6	0,62
13	<b>Мазут флотский</b>	Ф5	86,17	12,80	0,52	0,29	0,21
14		-	85,93	12,49	1,03	0,31	0,21
15		-	85,14	12,28	2,06	0,31	0,21
16		-	85,86	12,49	1,14	0,31	0,21
17		-	85,43	12,90	1,28	0,31	0,1
18		-	85,19	12,44	1,03	0,73	0,61
19		-	85,48	11,46	2,12	0,74	0,21
20		-	85,57	12,67	1,24	0,31	0,21
21		-	85,78	12,47	1,24	0,31	0,21
22		-	86,48	12,49	0,21	0,52	0,31
23		-	86,27	12,38	0,21	0,83	0,31
24	<b>Мазут флотский</b>	Ф12	85,76	13,02	0,83	0,83	0,31
25		-	86,17	12,59	0,83	0,31	0,1
26		-	85,76	12,70	0,41	0,41	0,31
27		-	85,86	12,49	1,14	0,21	0,31
28		-	85,24	12,38	1,86	0,21	0,31
29		-	86,48	12,07	0,52	0,21	0,72
30		-	85,86	13,00	0,72	0,31	0,10

## Месторождения и состав газообразных топлив

№	Газопровод	Состав газов по объёму, %						
		CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
1	Саратов-Москва	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8
2	Первомайск-Сторожевка	62,4	3,6	2,6	0,9	0,2	30,2	0,1
3	Саратов-Горький	91,9	2,1	1,3	0,4	0,1	3,0	1,2
	Ставрополь-Москва							
4	I нитка	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4
5	II нитка	92,8	2,8	0,9	0,4	0,1	2,5	0,5
6	III нитка	91,2	3,9	1,2	0,5	0,1	2,6	0,5
7	Серпухов-Ленинград	89,7	5,2	1,7	0,5	0,1	2,7	0,1
8	Гоголево-Полтава	85,8	0,2	0,1	0,1	0	13,7	0,1
9	Дашава-Киев	98,9	0,3	0,1	0,1	0	0,4	0,2
10	Рудки-Минск-Вильнюс	95,6	0,7	0,4	0,2	0,2	2,8	0,1
11	Угерско-Стрый	98,5	0,2	0,1	0	0	1,0	0,2
12	Брянск-Москва	92,8	3,9	1,1	0,4	0,1	1,6	0,1
13	Шебелинка-Харьков	92,8	3,9	1,0	0,4	0,3	1,5	0,1
14	Шебелинка-Брянск-Москва	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	1,2	-
15	Кумертау- Магнитогорск	81,7	5,3	2,9	0,9	0,3	8,8	0,1
16	Промысловка-Астрахань	97,1	0,3	0,1	0	0	2,4	0,1
17	Газли-Коган	95,4	2,6	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2
18	Хаджи-Абад-Фергана	85,9	6,1	1,5	0,8	0,6	5,0	0,1
19	Джаркак-Ташкент	95,5	2,7	0,4	0,2	0,1	1,0	0,1
20	Газли-Коган-Ташкент	94,0	2,8	0,4	0,3	0,1	2,0	0,4
21	Карабулак-Грозный	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,0
22	Бухара-Урал	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4
23	Урицк-Сторожевка	91,9	2,4	1,1	0,8	0,1	3,2	0,5
24	Линево-Кологривовка-Вольск	93,2	2,6	1,2	0,7	-	2,0	0,3
25	Игрим-Пунга-Серов-Нижний Тагил	95,7	1,9	0,5	0,3	0,1	1,3	-
26	Коробки-Лог-Волгоград	93,2	1,9	0,8	0,3	0,1	3,0	0,7
27	Ставрополь-Невинномысск-Грозный	98,2	0,4	0,1	0,1	0	1,0	0,2
28	Каменный Лог-Пермь	38,7	22,6	10,7	2,7	0,7	23,8	-
29	Казань-Бугульма-Лениногорск-Альметьевск	53,6	22,8	6,1	0,9	0,2	15,8	0,2
30	Туймазы-Уфа	55,0	22,0	9,8	1,2	0,4	16,6	-

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ФЕСТОНА И КОТЕЛЬНОГО ПУЧКА .....	6
3. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ .....	13
3.1. Температурный напор .....	14
3.2. Коэффициент теплопередачи .....	15
3.3. Последовательность расчета.....	15
4. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА .....	18
5. ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ.....	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	29
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	30

---

Подписано в печать 20.06.2011.	Усл. печ. л. 2,0	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ № _____	

---

Отпечатано: РИО ВоГТУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15