

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор-директор ЭНИН
_____ Ю.С. Боровиков
« ____ » _____ 2011 г.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОСПРИЯТИЙ ПО ЭЛЕМЕНТАМ КОНВЕКТИВНОЙ ШАХТЫ. РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

ЧАСТЬ III

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплинам «Технологические процессы и производства ТЭС и АЭС», «Котельные установки и парогенераторы» для студентов III–IV курсов, обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Составители **Т.С. Тайлашева, Н.В. Визгавлюст, К.В. Буваков**

Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 621.184.5(076.5)

ББК 31.361я73

P24

Распределение тепловосприятий по элементам конвективной шахты. Расчет воздухоподогревателя: методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплинам «Технологические процессы и производства ТЭС и АЭС», «Котельные установки и парогенераторы» для студентов III–IV курсов, обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». Часть III / сост. Т.С. Тайлашева, Н.В. Визгавлюст, К.В. Буваков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 20 с.

**УДК 621.184.5(076.5)
ББК 31.361я73**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН
« ____ » _____ 2011г.

Зав. кафедрой ПГС и ПГУ

доктор техн. наук,

профессор

_____ А.С. Заворин

Председатель

учебно-методической комиссии

_____ А.В. Глазачев

Рецензент

Кандидат технических наук

заведующий кафедрой АТЭС ЭНИН ТПУ

Л.А. Беляев

© Составление. ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011

© Тайлашева Т.С., Визгавлюст Н.В.,
Буваков К.В., составление, 2011

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2011

1 Распределение тепловосприятий по элементам конвективной шахты

Распределение тепловосприятий по элементам конвективной шахты предшествует тепловому расчету теплообменных поверхностей, в результате чего оцениваются параметры теплообменивающихся сред на границах поверхностей. Эти данные в дальнейшем используются для нахождения температурных напоров и расчета теплообмена в поверхностях нагрева.

Расчет тепловосприятия поверхностей и распределение теплоты между отдельными пакетами производится для известной компоновки котла и конструкции его узлов и должны обеспечивать надежную и экономичную работу. Для расчета тепловосприятий используются уравнения теплового баланса. Проверка правильности распределения тепловосприятий осуществляется сведением общего теплового баланса.

Существует несколько вариантов компоновки низкотемпературных поверхностей нагрева в конвективной шахте котла (рис. 1) в зависимости от принятой температуры горячего воздуха и температуры дымовых газов на выходе из котла.

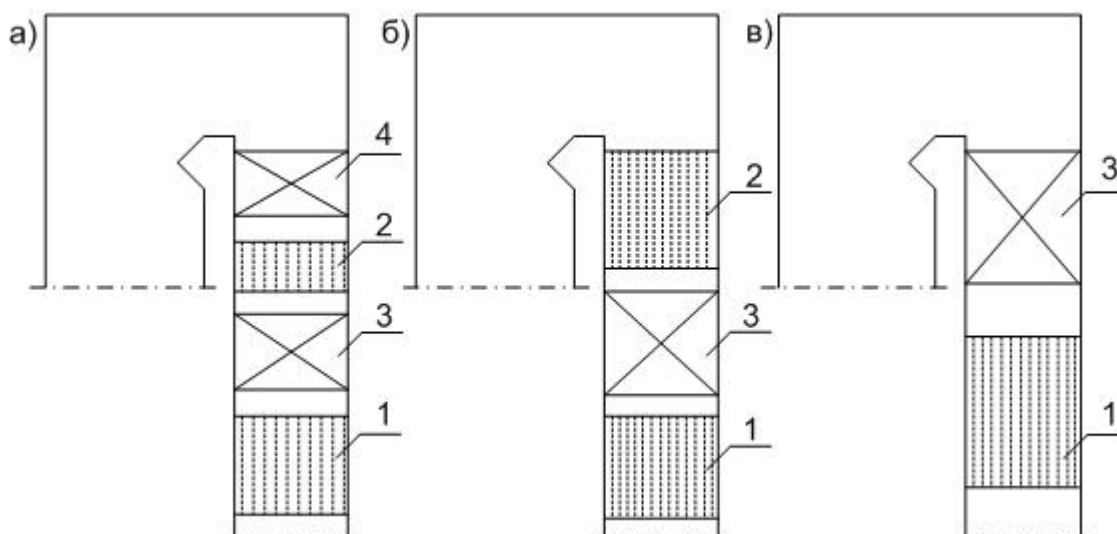


Рис. 1. Схема размещения низкотемпературных поверхностей нагрева в конвективной шахте:

а – двухступенчатая компоновка «в рассечку»; б – двухступенчатая компоновка «в полурассечку»; в – одноступенчатая компоновка; 1 – первая ступень воздухоподогревателя, 2 – вторая ступень воздухоподогревателя, 3 – первая ступень водяного экономайзера, 4 – вторая ступень водяного экономайзера

К низкотемпературным поверхностям относят воздухоподогреватель и экономайзер. Такое название воздухоподогреватель экономайзер

получили потому, что они работают в условиях низких температур, как греющей среды (дымовых газов), так и нагреваемых сред (воды и воздуха). Так, температура газов в этих поверхностях нагрева не превышает 500–600 °С, температура воздуха в большинстве случаев не достигает и 400 °С, а температура воды находится на уровне не более 350 °С.

Главное назначение низкотемпературных поверхностей нагрева котла – использование тепла дымовых газов, покидающих пароперегреватель с целью более глубокого их охлаждения и снижения температуры газов, уходящих из котла. В результате установка низкотемпературных поверхностей нагрева в паровых котлах приводит к повышению их коэффициента полезного действия и, следовательно к более экономичному использованию топлива.

Выбор компоновки воздухоподогревателя в газоходе котла определяется необходимостью подогрева воздуха до той или иной температуры. В одной ступени воздухоподогревателя можно осуществлять нагрев воздуха лишь до температуры не более чем 300–320 °С.

Приведенное ниже распределение тепловосприятий по элементам конвективной шахты рассматривается на примере двухступенчатой компоновки воздухоподогревателя и экономайзера (рис. 1, а).

1.1 Воздухоподогреватель первой ступени

1.1.1 Температура питательной воды на входе в водяной экономайзер

$$t_{пв}, \text{ }^\circ\text{C (по заданию).}$$

1.1.2 Температура уходящих дымовых газов

$$\vartheta_{ух}, \text{ }^\circ\text{C (по заданию).}$$

1.1.3 Энтальпия уходящих дымовых газов

$$I_{ух}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по 1–9 таблице).}$$

1.1.4 Оптимальная температура воздуха на выходе из 1 ступени воздухоподогревателя

$$t''_{вп1\text{опт}} = t_{пв} + 40 + 0,7(\vartheta_{ух} - 120), \text{ }^\circ\text{C.}$$

1.1.5 Принятая температура воздуха на выходе из 1 ступени воздухоподогревателя

$$t''_{вп1} \approx t''_{вп1\text{опт}}, \text{ }^\circ\text{C.}$$

1.1.6 Температура воздуха на входе в 1 ступень воздухоподогревателя

$$t'_{вп1}, \text{ }^\circ\text{C.}$$

При отсутствии внешнего подогрева воздуха принимается равной температуре холодного воздуха 30 °С.

1.1.7 Энтальпия воздуха на входе в воздухоподогреватель 1 ступени

$$I''^0_{\text{вп1}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.1.8 Энтальпия воздуха на выходе из воздухоподогревателя

$$I''^0_{\text{вп1}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.1.9 Отношение количества воздуха на выходе из ступени к теоретически необходимому

$$\beta''_{\text{вп1}} = \alpha_{\text{T}} - \Delta\alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha_{\text{вп2}},$$

где α_{T} – коэффициент избытка воздуха в топке [1, табл. XVII]; $\Delta\alpha_{\text{T}}$ – присосы воздуха в топке; $\Delta\alpha_{\text{вп2}}$ – присосы воздуха в воздухоподогревателе [1, табл. XVII]; $\Delta\alpha_{\text{пл}}$ – присосы воздуха в пылесистеме [1, табл. XVII].

1.1.10 Средняя температура воздуха в ступени

$$t_{\text{вп1}} = \frac{t'_{\text{вп1}} + t''_{\text{вп1}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

1.1.11 Энтальпия воздуха при средней температуре

$$I^0_{\text{в}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.1.12 Тепло, воспринятое воздухом в воздухоподогревателе первой ступени

$$Q_{\text{вп1}}^{\text{б}} = \left(\beta''_{\text{вп1}} + \frac{\Delta\alpha_{\text{вп1}}}{2} \right) \cdot (I''^0_{\text{вп1}} - I^0_{\text{вп1}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.1.13 Энтальпия дымовых газов на входе в воздухоподогреватель первой ступени

$$I''_{\text{вп1}} = I_{\text{yx}} + \frac{Q_{\text{б}}}{\varphi} - \Delta\alpha_{\text{вп1}} \cdot I^0_{\text{в}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.1.14 Температура дымовых газов на входе в воздухоподогреватель первой ступени

$$g'_{\text{вп1}}, \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.2 Водяной экономайзер второй ступени

1.2.1 Энтальпия дымовых газов на входе в экономайзер 2 ступени

$$I'_{\text{эк2}} = I''_{\text{кпп1}} = I''_{\text{T}} - \frac{D_{\text{пп}}}{B_{\text{p}}} \cdot (i_{\text{пп}} - i_{\text{нп}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.2.2 Температура дымовых газов на входе в экономайзер 2 ступени

$$g'_{\text{эк2}}, \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.2.3 Температура дымовых газов на выходе из экономайзера 2 ступени $g''_{\text{ЭК}_2}$, °С (принимается не более 530 °С).

1.2.4 Энтальпия дымовых газов на выходе из экономайзера

$$I''_{\text{ЭК}_2}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.2.5 Тепло, отданное дымовыми газами в водяном экономайзере 2 ступени

$$Q^{\delta}_{\text{ЭК}_2} = \varphi \cdot (I'_{\text{ЭК}_2} - I''_{\text{ЭК}_2} + \Delta\alpha_{\text{ЭК}_2} \cdot I^{\circ}_{\text{ХВ}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.3 Воздухоподогреватель второй ступени

1.3.1 Температура горячего воздуха в ступени

$$t''_{\text{ВП}_2} = t_{\text{ТВ}}, \text{ °С.}$$

1.3.2 Энтальпия воздуха на выходе из ступени

$$I''_{\text{ВП}_2}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.3.3 Энтальпия воздуха на входе в ступень

$$I'_{\text{ВП}_2} = I''_{\text{ВП}_1}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.3.4 Температура воздуха на входе в ступень

$$t'_{\text{ВП}_2} = t''_{\text{ВП}_1}, \text{ °С.}$$

1.3.5 Средняя температура воздуха в ступени

$$t_{\text{ВП}_2} = \frac{t'_{\text{ВП}_2} + t''_{\text{ВП}_2}}{2}, \text{ °С.}$$

1.3.6 Отношение количества воздуха на выходе из воздухоподогревателя

$$\beta''_{\text{ВП}_2} = \alpha_{\text{T}} - \Delta\alpha_{\text{T}} + \Delta\alpha_{\text{ПЛ}}.$$

1.3.7 Энтальпия воздуха при средней температуре в ступени

$$I^0_{\text{ВП}_2} = I_{\text{прс}_2}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.3.8 Тепло, воспринятое воздухом в воздухоподогревателе второй ступени

$$Q^{\delta}_{\text{ВП}_2} = \left(\beta''_{\text{ВП}_2} + \frac{\Delta\alpha_{\text{ВП}_2}}{2} \right) \cdot (I''_{\text{ВП}_2} - I^0_{\text{ВП}_2}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.3.9 Энтальпия дымовых газов на входе в ступень

$$I'_{\text{ВП}_2} = I''_{\text{ЭК}_2}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

1.3.10 Температура дымовых газов на входе в ступень

$$g'_{\text{ВП}_2} = g''_{\text{ЭК}_2}, \text{ °С.}$$

1.3.11 Энтальпия дымовых газов на выходе из ступени

$$I''_{\text{вп}_2} = I'_{\text{вп}_2} + \frac{Q_{\text{вп}_2}^{\delta}}{\varphi} - \Delta\alpha_{\text{вп}_2} \cdot I_{\text{прс}_2}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.3.12 Температура дымовых газов на выходе из ступени

$$g''_{\text{вп}_2}, \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (по I-9 таблице).}$$

1.4 Водяной экономайзер первой ступени

1.4.1 Температура дымовых газов на входе в экономайзер 1 ступени

$$g'_{\text{эк}_1} = g''_{\text{вп}_2}, \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

1.4.2 Энтальпия дымовых газов на входе в экономайзер 1 ступени

$$I'_{\text{эк}_1} = I''_{\text{вп}_2}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.4.3 Температура дымовых газов на выходе из экономайзера 1 ступени

$$g''_{\text{эк}_1} = g'_{\text{вп}_1}, \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

1.4.4 Энтальпия дымовых газов на выходе из экономайзера

$$I''_{\text{эк}_1} = I'_{\text{вп}_1}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.4.5 Тепло, отданное дымовыми газами в водяном экономайзере 1 ступени

$$Q_{\text{эк}_1}^{\delta} = \varphi \cdot (I'_{\text{эк}_1} - I''_{\text{эк}_1} + \Delta\alpha_{\text{эк}_1} \cdot I_{\text{хв}}^{\circ}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.5 Сведение теплового баланса

1.5.1 Тепло, переданное в топке излучением

$$Q_{\text{л}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.5.2 Тепловосприятие водяного экономайзера

1.5.2.1 Тепловосприятие второй ступени

$$Q_{\text{эк}_2}^{\delta}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.5.2.2 Тепловосприятие первой ступени

$$Q_{\text{эк}_1}^{\delta}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.5.2.3 Общее тепловосприятие водяного экономайзера

$$Q_{\text{эк}} = Q_{\text{эк}_1}^{\delta} + Q_{\text{эк}_2}^{\delta}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.5.3 Общее тепловыделение пароперегревателя за счет конвекции

$$Q_{\text{пп}} = \frac{D_{\text{пп}}}{B_{\text{п}}} \cdot (i_{\text{пп}} - i_{\text{нп}}), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

1.5.4 Абсолютная расчетная невязка теплового баланса

$$\Delta Q = Q_p^p \cdot \frac{\eta_{ка}}{100} - (Q_{л} + Q_{пп} + Q_{эк}) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

1.5.5 Относительная невязка теплового баланса

$$\delta Q = \frac{\Delta Q}{Q_p^p} \cdot 100\%.$$

Величина δQ не должна превышать 0,5 %, что свидетельствует о правильности выполнения расчетов.

2 Расчет воздухоподогревателя

Воздухоподогреватель – это элемент (поверхность нагрева) котла, предназначенная для нагрева воздуха. По способу передачи тепла воздухоподогреватели бывают регенеративными (рис. 2) и рекуперативным (рис. 3).

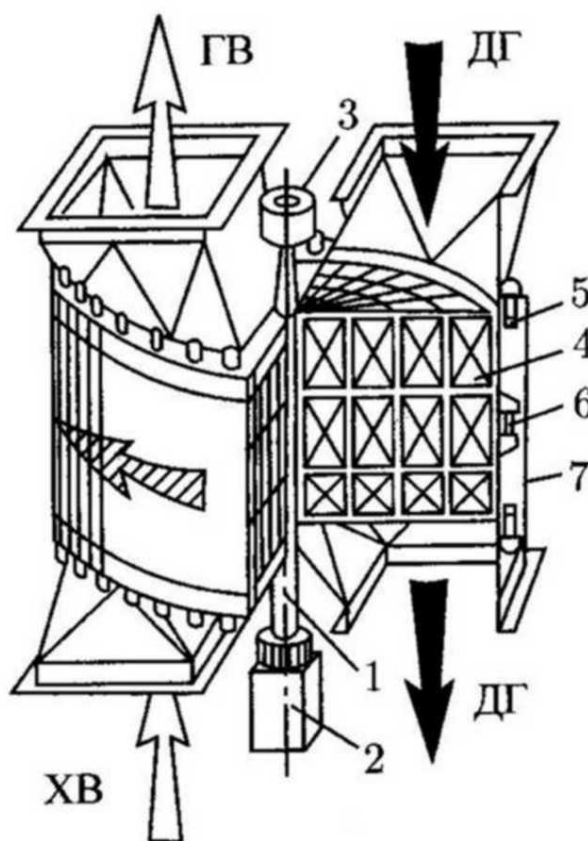


Рис. 2 Схема регенеративного воздухоподогревателя:
ДГ – дымовые газы; ХВ – холодный воздух; ГВ – горячий воздух; 1 – вал; 2, 3 – нижняя и верхняя опоры; 4 – секция ротора; 5 – верхнее периферийное уплотнение; 6 – зубья привода; 7 – наружная металлическая обшивка (кожух)

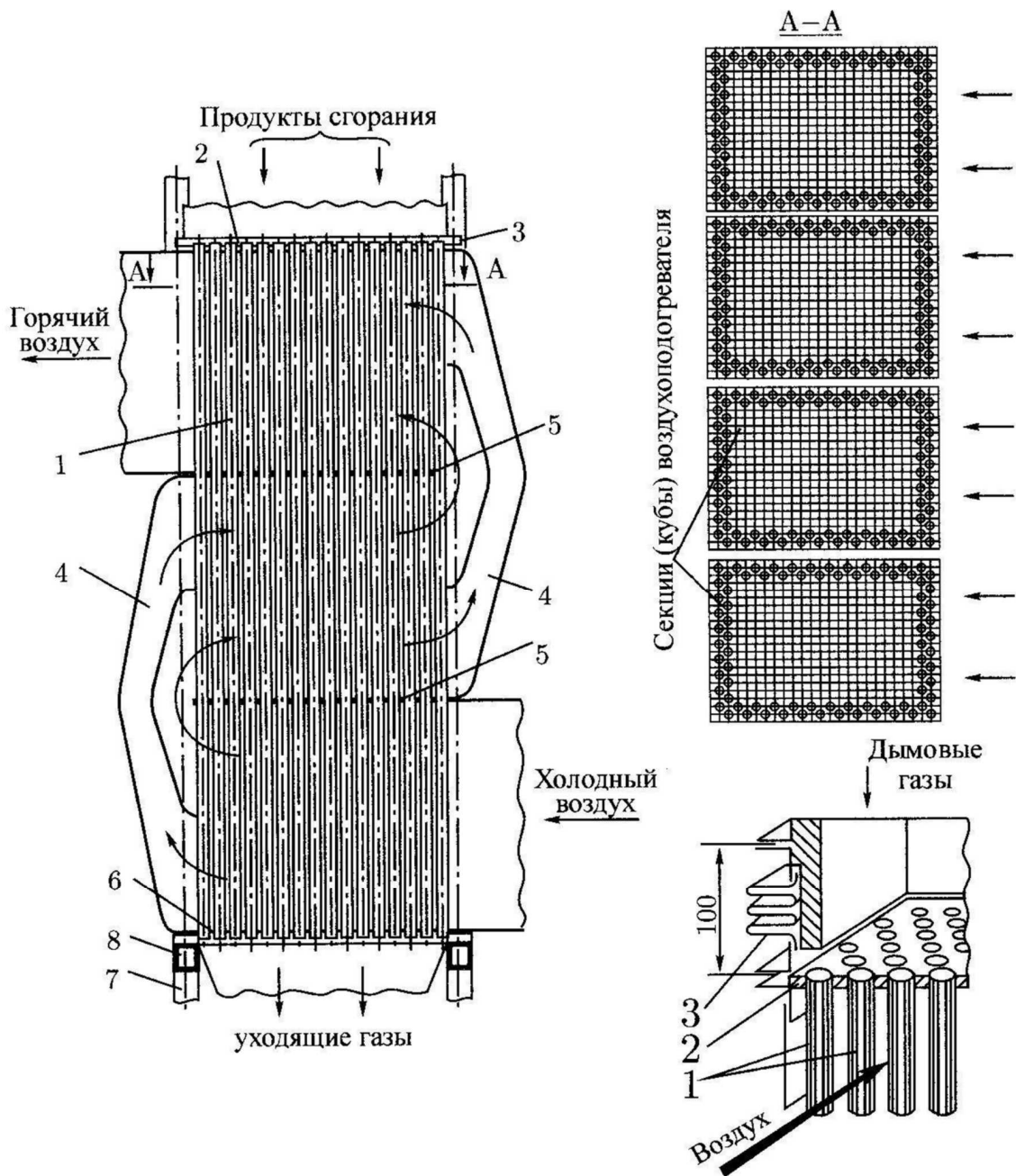


Рис. 3 Схема регенеративного (трубчатого) воздухоподогревателя:
 1 – стальные трубы; 2, 6 – верхняя и нижняя трубные доски; 3 – компенсатор тепловых расширений; 4 – воздухоперепускной короб; 5 – промежуточная трубная доска; 7, 8 – опорные колонны и горизонтальные балки

Регенеративные воздухоподогреватели состоят из ротора с нагревательной набивкой (керамической, металлической и др.). Ротор с набивкой разделен на две части. В одну из них (через горловину в крышке) поступают дымовые газы, а в другую – воздух. Дымовые газы движутся непрерывно сверху вниз, а воздух – снизу вверх. Ротор воздухо-

подогревателя медленно вращается на своем валу. Часть набивки ротора, омываемая дымовыми газами, нагревается, а затем, при переходе в поток воздуха отдает ему свое тепло. В итоге организуется непрерывный нагрев воздуха за счет переноса теплоты, аккумулированной нагревательной набивкой ротора в газовом потоке.

При использовании сернистых топлив рекомендуется применять регенеративные воздухоподогреватели, а при использовании высокосернистых топлив – регенеративные воздухоподогреватели с антикоррозийным покрытием или неметаллическими поверхностями нагрева и с предварительным подогревом воздуха.

Рекуперативные воздухоподогреватели конструктивно представляют собой пучок вертикально расположенных нагревательных труб, внутри которых протекают дымовые газы. Снаружи эти трубы омываются воздухом, который нагревается за счет передачи тепла от дымовых газов через стенки труб. Такие воздухоподогреватели называют трубчатыми рис 3.

Для образования перекрестного тока воздуха трубную систему по высоте делят на несколько ходов промежуточными перегородками-досками; в местах поворота установлены воздушные перепускные короба. Воздухоподогреватель с боков имеет наружные стальные плотные стенки, нижняя трубная доска опирается на металлическую раму, связанную с каркасом котла.

Приведенный ниже расчет для наиболее общего случая – когда установлен трубчатый воздухоподогреватель, его трубы расположены вертикально, дымовые газы омывают их изнутри, а воздух снаружи.

2.1 Диаметр и толщина стенки труб

$$d, \text{ мм } (d = 33\text{--}40 \text{ мм}),$$
$$\delta = 1,5 \text{ мм}.$$

При сжигании твердых и жидких топлив предпочтение отдается трубам $d = 40$ мм, а при сжигании газа $d = 33$ и 29 мм [1, п. 5.7.1.].

2.2 Расположение труб – шахматное.

2.3 Поперечный к потоку шаг труб [1, п. 5.7.1.]

$$S_1 = (1,5\text{--}1,6) d, \text{ м}.$$

2.4 Количество труб в одном ряду по ширине конвективной шахты

$$z_1 = \frac{a - S_1}{S_1}, \text{ м}.$$

Ширина конвективной шахты при П-образной компоновке, как правило, равна ширине топочной камеры, за исключением тех случаев, когда предусматривается разделение шахты на газоходы.

2.5 Температура и энтальпия дымовых газов

2.5.1 На входе в ступень

$$g'_{\text{вп}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad I'_{\text{вп}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

2.5.2 На выходе из ступени

$$g''_{\text{вп}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad I''_{\text{вп}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

2.5.3 Средние значения для ступени

$$g_{\text{ср}} = \frac{g'_{\text{вп}} + g''_{\text{вп}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$I_{\text{ср}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ (по 1-} g \text{ таблице при значении температуры } g_{\text{ср}} \text{)}.$$

2.6 Температура воздуха

2.6.1 На входе в ступень

$$t'_{\text{вп}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2.6.2 На выходе из ступени

$$t''_{\text{вп}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2.6.3 Среднее значение для ступени

$$t_{\text{ср}} = \frac{t'_{\text{вп}} + t''_{\text{вп}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2.7 Скорость дымовых газов

$$\omega_{\text{г}}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ (принято)}.$$

Для котельных установок с уравновешенной тягой оптимальное значение скорости дымовых газов в воздухоподогревателе находится в пределах от 8 до 13 м/с. При сжигании низкосортных дешевых топлив верхний предел диапазона оптимальных скоростей дымовых газов может составлять 14–14,5 м/с. Во избежание золового заноса скорость дымовых газов не должна приниматься менее 8 м/с [2].

2.8 Живое сечение для прохода дымовых газов

$$F = \frac{B_{\text{р}} \cdot V_{\text{г}} (g_{\text{ср}} + 273)}{\omega_{\text{г}} \cdot 273}, \text{ м}^3,$$

где $V_{\text{г}}$ – удельный объем дымовых газов ($\text{м}^3/\text{кг}$), $B_{\text{р}}$ – расчетный расход топлива ($\text{кг}/\text{с}$).

2.9 Общее количество труб в ступени воздухоподогревателя

$$z = \frac{F}{0,785(d - 2\delta)^2}.$$

Значение z должно быть целым числом, в противном случае следует откорректировать принимаемое значение $\omega_{\text{г}}$.

2.10 Количество рядов труб по глубине конвективной шахты

$$z_2 = \frac{z}{z_1}.$$

Значение z_2 должно быть целым числом, в противном случае следует откорректировать принимаемое значение ω_r и S_1 .

2.11 Продольный к потоку воздуха шаг труб S_2 , м.

По условию компактного размещения труб и по технологии изготовления продольный шаг рекомендуется выбирать в пределах

$$\frac{S_2}{d} = 1,05-1,1.$$

2.12 Количество параллельных потоков воздуха в ступени n .

Принимается равным целому числу. Наиболее простой случай компоновки воздухоподогревателя при однопоточной конструкции ($n = 1$). Многопоточные ($n \geq 2$) конструкции трубчатых воздухоподогревателей и связанного с необходимостью соблюдения оптимального соотношения скоростей воздуха и дымовых газов. При этом усложнение компоновки ступени позволяет уменьшить ее габариты за счет увеличения числа перекрестных ходов воздуха, что особенно важно для парогенераторов большой паропроизводительности. Для выполнения многопоточной конструкции воздухоподогревателя в конвективной шахте предусматриваются один ($n = 2$) или при ($n > 2$) внутренних воздухоперепускных коробов, что увеличивает общее сечение конвективной шахты.

Схемы вариантов компоновки однопоточной и двухпоточной двухступенчатого воздухоподогревателя приведены на рис 4.

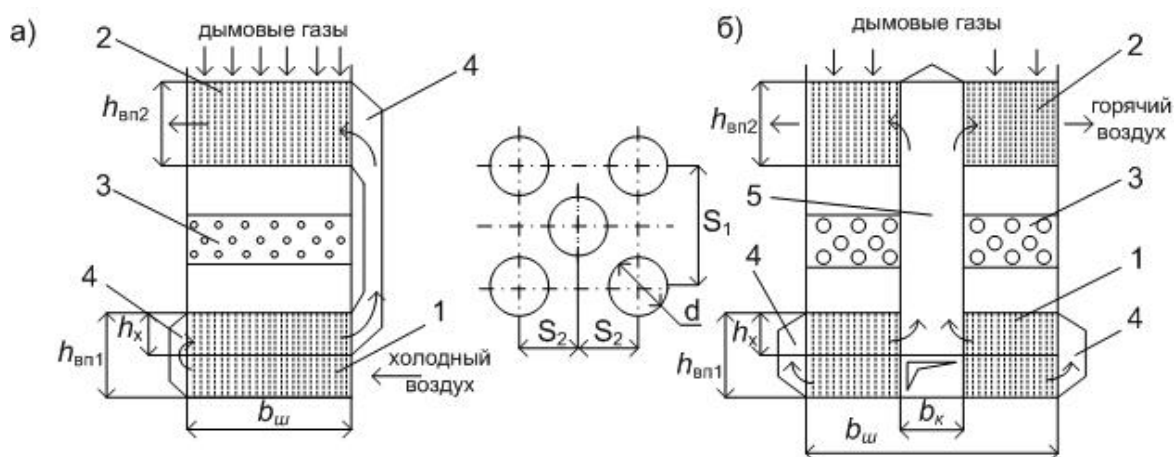


Рис. 4 Примеры однопоточного (а) и двухпоточного (б) двухступенчатого воздухоподогревателей:

- 1 – первая ступень воздухоподогревателя; 2 – вторая ступень воздухоподогревателя; 3 – ступень водяного экономайзера; 4 – внешний воздухоперепускной короб; 5 – внешний воздухоперепускной короб

2.13 Глубина внутреннего воздухоперепускного короба

$$a_k = 0,8-1,2 \text{ м.}$$

Учитывается только при многопоточной конструкции ($n \geq 2$). В случае однопоточного воздухоподогревателя данный пункт должен быть опущен.

2.14 Относительное количество воздуха в ступени

- для одноступенчатого воздухоподогревателя ($\beta_{\text{вп}_1}$) и для 2 ступени двухступенчатого воздухоподогревателя ($\beta_{\text{вп}_2}$)

$$\beta_{\text{вп}} = \alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{\text{пл}} + \frac{\Delta\alpha_{\text{вп}}}{2},$$

- для первой ступени двухступенчатого воздухоподогревателя

$$\beta_{\text{вп}_1} = \alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha_{\text{вп}_2} \frac{\Delta\alpha_{\text{вп}_1}}{2}.$$

2.15 Скорость воздуха в ступени

$$\omega_B, \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ (принимается).}$$

Оптимальное с технико-экономической точки зрения значения скорости воздуха составляют $\omega_B = (0,5-0,7)\omega_T$. Соответствующие рекомендации изложены в Нормативном методе [1].

2.16 Живое сечение для прохода воздуха

$$F = \frac{B_p \cdot V_T (\vartheta_{\text{ср}} + 273)}{\omega_T \cdot 273}, \text{ м}^2,$$

где V_T – удельный объем дымовых газов ($\text{м}^3/\text{кг}$), B_p – расчетный расход топлива (кг/с).

2.17 Высота одного хода для воздуха

$$h_x = \frac{f}{\alpha - z_1 \cdot d}, \text{ м.}$$

2.18 Расчет температурного напора в ступени

2.18.1 Наибольшая разность температур сред

$$\Delta t = \vartheta''_{\text{вп}} - t'_{\text{вп}}, \text{ } ^\circ\text{С.}$$

2.18.2 Наименьшая разность температуры сред

$$\Delta t_M = \vartheta'_{\text{вп}} - t''_{\text{вп}}, \text{ } ^\circ\text{С.}$$

2.18.3 Температурный напор при противотоке

$$\Delta t_{\text{прт}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_M}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_M}}, \text{ } ^\circ\text{С.}$$

Если $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} \leq 1,7$, то температурный напор можно определить как

среднеарифметический: $\Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_M}{2}$, °С.

2.19 Расчет теплопередачи конвекцией

2.19.1 Значение коэффициента без учета поправок

$$\alpha_n, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}, [2, \text{ном. 14}].$$

Необходимое для пользования номограммой значение эквивалентного диаметра продольно омываемого канала d , при течении дымовых газов внутри труб определяется как внутренний диаметр, т. е. $d_3 = d_{\text{вн}} = d - 2\delta$.

2.19.2 Поправка на физические свойства среды

$$C_\phi, [2, \text{ном. 14}].$$

2.19.3 Поправка на длину омываемого канала

$$C_1, [2, \text{ном. 14}].$$

2.19.4 Расчетное значение коэффициента

$$\alpha_k = \alpha_n \cdot C_\phi \cdot C_1, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}.$$

2.20 Расчет коэффициента теплоотдачи излучением (Влияние теплоотдачи излучением учитывается только в расчете второй ступени двухступенчатого воздухоподогревателя [2, п. 7-35])

2.20.1 Эффективная толщина излучающего слоя

$$S = 0,9d_{\text{вн}} = 0,9(d - 2\delta), \text{ м } [2, \text{п. 7-35}].$$

2.20.2 Суммарное парциальное давление трехатомных газов

$$p_n = p \cdot r_n, \text{ МПа.}$$

Значение суммарной объемной доли трехатомных газов r_n приведено в таблице объемных характеристик дымовых газов. Давление в газоходе для котла без наддува может быть принято $p = 0,01$ МПа.

2.20.3 Произведение $p_n \cdot S$.

2.20.4 Коэффициент $k_r, \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$ [2, ном. 3].

Для определения k_r по номограмме используются значения $r_{\text{H}_2\text{O}}$, $\vartheta_{\text{ср}}$ и $p_n \cdot S$.

2.20.5 Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами

$$k_r \cdot r_n, \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}.$$

2.20.6 Коэффициент $k_{\text{зл}}, \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$ [2, ном. 4].

2.20.7 Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами

$$k_{зл} \cdot \mu_{зл}, \frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}},$$

где $\mu_{зл}$ – безразмерная концентрация золы дымовых газов, приведены в таблице объемных характеристик продуктов сгорания.

2.20.8 Суммарная оптическая толщина газового окна для запыленного потока

$$kps = (k_r \cdot r_n + k_{зл} \cdot \mu_{зл}) p \cdot s.$$

2.20.9 Степень черноты газового потока a , [2, ном. 2]. (Для определения a по номограмме используется значение kps).

2.20.10 Температура стенки трубы

$$t_{ст} = \frac{\vartheta_{ср} + t_{ср}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} [2, \text{п. 7-36}].$$

2.20.11 Коэффициент теплоотдачи излучением значение коэффициента без учета поправок

$$\alpha_n, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} [1, \text{ном. 19}].$$

2.20.12 Поправка на отсутствие золовых частиц C_3 , [1, ном. 19]. (Подсчитывается только при сжигании газа).

2.20.13 Коэффициент теплоотдачи излучением для запыленного потока

$$\alpha_l = \alpha_n \cdot a \cdot C_3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

2.21 Коэффициент использования

$$\xi, [2, \text{п. 7-59}].$$

Принимается в зависимости от вида топлива и количества промежуточных досок в ступени в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Коэффициент использования

Вид топлива	Коэффициент использования трубчатых воздухоподогревателей при различном числе ходов воздуха					
	$z_x = 1$		$z_x = 2$		$z_x = 3$	
	1 ступ.	2 ступ.	1 ступ.	2 ступ.	1 ступ.	2 ступ.
Антрацит (штыб)	0,80	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60
Фрезерный торф	0,80	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60
Мазут	0,80	0,85	0,70	0,75	0,65	0,70
Другие топлива	0,85	0,85	0,75	0,75	0,70	0,70

2.22 Коэффициент теплоотдачи излучением для запыленного потока

$$\alpha_1 = \xi(\alpha_k - \alpha_l), \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

2.23 Определение коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху

2.23.1 Значение коэффициента без учета поправок

$$\alpha_n, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \text{ [2, ном. 13].}$$

2.23.2 Поправка на число рядов труб по ходу газов

$$C_z, \text{ [2, ном. 13].}$$

Для определения C_z по номограмме в зависимости от z_2 используется значение относительного поперечного шага $\sigma_1 = \frac{S_1}{d}$. При $\sigma_1 < 3,0$ определение производят по нижней кривой графика $C_x = f(z)$. При этом для однопоточной конструкции расчетным числом труб в ряду является z_2 , для двухпоточной – $z_2/2$.

2.23.3 Поправка на компоновку пучка труб

$$C_s, \text{ [2, ном. 13].}$$

Определение по номограмме ведется на основании из известных относительных шагов труб: поперечного $\sigma_1 = \frac{S_1}{d}$ и продольного $\sigma_2 = \frac{S_2}{d}$.

2.23.4 Поправка на физические свойства среды

$$C_\phi, \text{ [1, ном. 13].}$$

Определение ведется по номограмме на основании известного значения средней температуры t_{cp} по кривой для воздуха.

2.23.5 Расчетное значение коэффициент теплопередачи от стенки к воздуху

$$\alpha_2 = \alpha_n \cdot C_z \cdot C_s \cdot C_\phi, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

2.24 Коэффициент теплопередачи

$$k = \xi \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

2.25 Расчетная поверхность нагрева воздухоподогревателя первой ступени

$$H = \frac{B_p \cdot Q_\delta}{k \cdot \Delta t}, \text{ м}^2,$$

где Q_δ – тепловосприятие ступени (по балансу), определенное ранее при распределении тепловосприятий по элементам конвективной шахты.

2.26 Полная высота труб ступени

$$h_{\text{ВП1}} = \frac{H}{\pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot z}, \text{ м},$$

где $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр трубы $d_{\text{ср}} = \frac{d + d_{\text{ВН}}}{2} = \frac{d + (d - 2\delta)}{2}$, м.

2.27 Число ходов воздуха в ступени

$$z_{\text{х.д.}} = \frac{h_{\text{ВП1}}}{h_x}.$$

Число ходов z_x должно быть целым числом. Если в результате расчета получено нецелое число, то его необходимо округлить до ближайшего целого. После этого проводится сверка расчетного значения с предварительным принятым.

2.28 Действительная высота хода для потока воздуха

$$h_{\text{х.д.}} = \frac{h_{\text{ВП1}}}{z_x}, \text{ м}.$$

2.29 Действительная скорость воздуха в ступени

$$\omega_{\text{в.д.}} = \frac{B_p \cdot \beta_{\text{ВП1}} \cdot V_{\text{Н}}^0 \cdot (t_{\text{ср}} + 273)}{h_{\text{х.д.}} \cdot (a_{\text{кш}} - z_1 \cdot d) \cdot 273 \cdot n}, \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2.30 Относительное расхождение принятого и расчетного значения скорости воздуха в ступени

$$\delta\omega_{\text{в}} = \frac{|\omega_{\text{в}} - \omega_{\text{в.д.}}|}{\omega_{\text{в}}} \cdot 100\%.$$

Тепловой расчет ступени воздухоподогревателя можно считать законченным, если $\delta\omega_{\text{в}}$ не превышает 10 %. В противном случае следует принять новое значение $\omega_{\text{в}}$ (см. п. 2.15) и далее произвести уточнение коэффициента теплопередачи по п. 2.24.

2.31 Дополнительные рекомендации к расчету и конструированию воздухоподогревателя

Одноступенчатый воздухоподогреватель (ВП) рассчитывается как единое целое, при двухступенчатой компоновке каждая ступень рассчитывается отдельно в соответствии с изложенными выше указаниями.

Целесообразно типоразмер и шаги труб в обеих ступенях выбирать одинаковыми.

Эффективная работа ВП достигается при равномерной раздаче воздуха на входе в трубный пучок, а также в перепускных коробах между ступенями и отдельными ходами в пределах ступени. Для этого в перепускных каналах рекомендуется устанавливать направляющие листы, а потоки воздуха в многопоточном ВП полностью разделять.

Тепловой расчет второй ступени в двухступенчатом ВП отличается от расчета первой ступени тем, что при определении коэффициента теплопередачи необходимо учитывать коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания.

В однопоточном ВП и в первой ступени двухступенчатых целесообразно выделять верхнюю несменяемую часть и нижнюю сменяемую. Последняя представляет собой подвешиваемые кубы в пределах первого хода воздуха. Это предусматривается с целью уменьшения ущерба от низкотемпературной серной коррозии. При этом необходимо обеспечить отсутствие условий для конденсации водяных паров на трубах несменяемой части. Это достигается тем, что минимальная температура стенки труб в несменяемой части должна превышать точку росы дымовых газов. В связи с этим после теплового расчета первой ступени двухступенчатого ВП или одноступенчатого ВП проводим расчет с целью проверки отсутствия коррозии в несменяемой части, необходимые рекомендации для которого подробно изложены в Нормативном методе [1].

Список литературы

1. Тепловой расчет котлов: (Нормативный метод). 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Фурсов И.Д. Конструирование и тепловой расчет паровых котлов / Фурсов И.Д., Коновалов В.В. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001. – 266 с.
3. Липов Ю.М. Котельные установки и парогенераторы : учебник / Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. – 2-е изд., испр. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – 592 с.
4. Карякин С.К. Котельные установки и парогенераторы. Основы и методика теплового расчета котлов : учебное пособие / Карякин С.К. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 156 с.
5. Карякин С.К. Котельные установки и парогенераторы. Курсовое проектирование : учебно-методическое пособие / Карякин С.К.; Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 128 с.
6. Карякин С.К. Котельные установки и парогенераторы. Тепловой расчет котлов : учебное пособие / Карякин С.К. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 156 с.

Учебное издание

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОСПРИЯТИЙ ПО ЭЛЕМЕНТАМ КОНВЕКТИВНОЙ ШАХТЫ. РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Методические указания к выполнению курсовой работы
по дисциплинам «Технологические процессы и производства ТЭС и АЭС»,
«Котельные установки и парогенераторы» для студентов III–IV курсов,
обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Составители

ТАЙЛАШЕВА Татьяна Сергеевна
ВИЗГАВЛЮСТ Наталья Викторовна
БУВАКОВ Константин Владимирович

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати . Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. .
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru