Библиотека СОК

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Северо – Западный государственный заочный технический университет

Кафедра теплотехники и теплоэнергетики

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Методические указания к выполнению курсового проекта

Факультет энергетический
Направление и специальности подготовки дипломированного специалиста:
650800 – теплоэнергетика
100500 – тепловые электрические станции
100700 – промышленная теплоэнергетика
Направление подготовки бакалавра
550900 – теплоэнергетика

Санкт - Петербург
2004

Утверждено редакционно-издательским советом университета
УДК 621.181.61

Котельные установки и парогенераторы: Методические указания к выполнению курсового проекта. - СПб.: СЗТУ, 2004. - 35 с.

Тематика и содержание курсового проекта соответствуют требованиям государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 650800 - «Теплоэнергетика» (специальности 100500 – «Тепловые электрические станции» и 100700 – «Промышленная теплоэнергетика») и направлению подготовки бакалавра 550900 – «Теплоэнергетика».

Методические указания содержат рекомендации к тепловому и аэродинамическому расчетам котла в связи с переводом его на другое топливо, изменением производительности и др.

Брошюра рассчитана на совместное использование с «Нормативными методами» теплового и аэродинамического расчетов.

Рассмотрено на заседании кафедры теплотехники и теплоэнергетики 03 сентября 2004 г.; одобрено методическим советом энергетического факультета 04 октября 2004 г.

Рецензенты: кафедра теплотехники и теплоэнергетики СЗТУ (зав. кафедрой **З.Ф. Каримов**, д-р техн. наук, проф.); **Н.Н. Гладышев**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей СПбГТУРП.

Составитель **Е.А**. **Блинов**, канд. техн. наук, проф.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Целью проекта по курсу «Котельные установки и парогенераторы» является освоение методики теплового расчета элементов и в целом котла, аэродинамического расчета газового и воздушного трактов котельной установки и выбора тягодутьевых машин с учетом оптимальных режимов их эксплуатации.

Задачей курсового проекта является усвоение взаимосвязей теплофизических характеристик (ΔT, V, w, ΔH, α, k, c_P и др.) и их влияние на конструктивные ($H_л$, $H_{пп}$, $H_{вэ}$ и др.) и режимные (B, $t_{пп}$, $\vartheta_{уг}$ и др.) характеристики котла в процессе теплового и аэродинамических расчетов.

Выполнение курсового проекта позволяет закрепить знания, полученные при изучении теоретической части курса, по вопросам теплообмена, топочно - котельной техники, аэродинамики котла; получить навыки по отысканию возможных путей усовершенствования работы котла, пользования нормативными материалами, ГОСТами, справочниками и другой литературой. Курсовой проект готовит студента к дипломному проектированию и имеет большое значение в его подготовке как высококвалифицированного инженера - теплоэнергетика. 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 специальности.

Тему курсового проекта студент выбирает в соответствии со своим шифром в методическом сборнике по курсу «Котельные установки и парогенераторы» или получает у преподавателя индивидуально. В последнем случае руководитель проекта выдает студенту бланк задания с исходными данными и чертежи прототипа проектируемого котла. При проектировании рекомендуется использовать заводские копии чертежей, атласы чертежей и имеющиеся в литературе примеры компоновок котлов.

В существующей нормативной литературе еще используются единицы физических величин систем МКГСС, МКСГ, однако все расчеты в курсовом проекте необходимо производить в единицах СИ (ГОСТ 8.417 - 81). Для ускорения перевода результатов расчетов в приложении 1 приведена таблица соотношений между единицами. Рекомендуемые учебные пособия приведены в библиографическом списке.

Разработка проекта проводится преимущественно в плане реконструкции котла в связи с переводом на другой вид топлива или с целью повышения его мощности, экономичности.

В объем работы над проектом входит выполнение теплового и аэродинамического расчетов и чертежей котла. При этом (по указанию преподавателя) производится либо полностью тепловой расчет, и тогда аэродинамический расчет опускается, либо частично тепловой расчет и полностью аэродинамический, как это показано в рекомендуемом графике выполнения проекта (приложение 2).

1. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Современные промышленные предприятия и ТЭС имеют сложную и многообразную энергетическую систему, состоящую из установок и устройств, предназначенных для производства, трансформации, передачи, распределения и потребления топлива, электроэнергии, теплоты, сжатого воздуха, газа, кислорода.

В качестве основного теплоносителя в промышленности и в быту используются пар и горячая вода, вырабатываемые в котельных установках. Технологическая схема котельной установки видоизменяется в зависимости от ее назначения, производительности, параметров пара, вида топлива, способа его сжигания и местных условий.

В качестве источника теплоты для котельных установок и парогенераторов используют продукты сжигания различных природных и искусственных топлив (твердых, жидких и газообразных), а также теплоту, выделяющуюся при экзотермических реакциях технологических процессов, теплоту отходящих газов промышленных печей и металлургического производства, теплоту охлаждения технологического продукта, теплоту теплоносителя первичного (вторичного) контура АЭС и т.п.

Широкая гамма источников теплоты, используемых в котельных установках, и способов сжигания топлива определяет многообразие типов котлов. Появление альтернативных топлив таких, например, как биотопливо, с необходимостью влечет за собой разработку новых конструкций котельных установок.

Поэтому тематика работ, предлагаемых студентам для курсового проектирования, очень широка: паровые котлы, работающие на природном газе и смеси газов - отходов доменного и коксохимического производств, на твердом топливе со слоевым и факельным сжиганием, а также сжиганием в кипящем слое и в вихре, на жидком топливе; котлы - утилизаторы, работающие на теплоте отходящих газов промышленных печей различного назначения; водогрейные котлы различных типов и т.п.

В качестве задания на курсовой проект может быть принят для реконструкции любой котел промышленного предприятия или ТЭС, однако предпочтение отдается новейшим типам котлов, выпускаемым котлостроительной промышленностью или находящимся на стадии разработки. Удовлетворение запросов предприятия по месту работы студента имеет определяющее значение при самостоятельном выборе темы курсового проекта. Целевое направление такого проекта - решение реальных актуальных задач по совершенствованию работы действующих котельных установок промпредприятия и тепловых электростанций.

Анализ работы действующего оборудования, принятие конкретных решений по реконструкции его для повышения технико-экономических показателей, проведение необходимых расчетов на уровне курсового проекта и защита принятых решений способствуют более глубокому развитию навыков самостоятельного творческого мышления студента.

Логическим завершением подобного курсового проекта является внедре-

ние результатов его конструкторско - технологических разработок в производство.

В такой постановке выбора темы курсового проекта должны быть заинтересованы и студент, и предприятие; выполнение проекта гарантирует надежную обратную связь учебного процесса с производством: предприятие, имея заинтересованность в учебно - исследовательских разработках, является в то же время естественным соучастником подготовки инженерных кадров.

Такие темы курсовых проектов могут быть приняты студентом в порядке личной инициативы или по заказу предприятия, а проекты будут защищаться их авторами как студенческие научно- или учебно - исследовательские работы (НИРС или УИРС).

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Руководитель выдает студенту бланк задания со следующими исходными данными: паропроизводительность котельной установки D; давление перегретого (насыщенного) пара $p_{пп}$ ($p_{нп}$); температура перегретого пара $t_{пп}$; температура питательной воды $t_{пв}$; температура холодного воздуха $t_{хв}$, марка топлива и процентное содержание его элементов, если оно отличается от табличный значений, приведенных в [1].

После получения задания студент должен ознакомиться с прототипом проектируемой котельной установки и материалами, которые могут быть использованы при выполнении проекта, изучить литературу по теме проекта, рассмотреть возможные (конструктивные) варианты решения поставленной перед ним задачи, принять обоснованное решение. После согласования принятого решения с руководителем студент приступает к расчетной части проекта.

2.1. Требования к пояснительной записке

Пояснительная записка пишется студентом собственноручно, четко и без помарок, разборчивым почерком, чернилами или шариковой ручкой любого цвета (кроме красного и зеленого) на обеих сторонах листа бумаги формата 11. Графический материал (схемы, рисунки, графики и т.д.) выполняется аккуратно, с применением чертежных инструментов.

Во всех случаях использования литературных источников в тексте должна быть сделана ссылка на них (порядковый номер источника по приведенному перечню использованной литературы, взятый в квадратные скобки).

Если в расчетах использованы численные значения параметров, найденные по графикам или таблицам, то делается ссылка на источник с указанием номера рисунка. В пояснительной записке не должно быть цифр, происхождение которых неизвестно и не может быть установлено.

Все расчеты должны быть сведены в таблицы по форме, приведенной ниже.

Численные значения параметров приводятся в единицах СИ, по следую-

щей форме

Наименование параметра	Расчетная формула или способ определения	Расчет	Численное значение
1	2	3	4
…			
Энтальпия газов на выходе из топки $H_т$, кДж/кг			
…			

Все расчеты рекомендуется помещать в приложении к пояснительной записке.

Титульный лист следует выполнять на плотной бумаге, текст его можно отпечатать на ПК. В приложении 3 приведен образец оформления титульного листа. В строчке КП.100701 - 3202.ПЗ студент пишет: КП - курсовой проект, 1007 - номер своей специальности, 01 - 3202 - свой шифр, ПЗ - пояснительная записка. За титульным листом помещается бланк задания на курсовой проект, затем «Содержание», далее пояснительная записка, библиографический список использованных источников и после него помещаются приложения с таблицами расчетов.

Запись использованных источников производится по ГОСТ 7.1 - 84, как это сделано, например, в настоящих «Указаниях».

Пояснительная записка к проекту должна содержать следующие разделы.

Введение. Здесь необходимо указать генеральную линию правительства РФ по развитию и использованию топливно - энергетического комплекса страны, состояние и перспективы развития парогенераторо- и котлостроения для нужд теплоэнергетики, перечислить типы котлов, заводы-изготовители, затем обосновать, исходя из вышеизложенного, выбор темы курсового проекта.

Описание проектируемого котла. В этом разделе следует описать конструкцию котла, составить таблицу основных конструктивных размеров прототипа, необходимых для теплового и аэродинамического расчетов, вычертить схемы испарения и циркуляции, схемы газового и воздушного трактов. При описании конструкции следует привести характеристику внутрибарабанных устройств, горелочных устройств, вентиляторов и дымососов прототипа. Здесь же привести описание реконструкции котла.

Пояснительная записка к расчетам проектируемого котла. Этот раздел состоит из двух частей: теплового расчета и аэродинамического расчета.

В пояснительной записке *к тепловому расчету* указываются цели и задачи теплового расчета (поверочного и конструктивного), обосновывается выбор метода расчета (см. раздел 2.2).

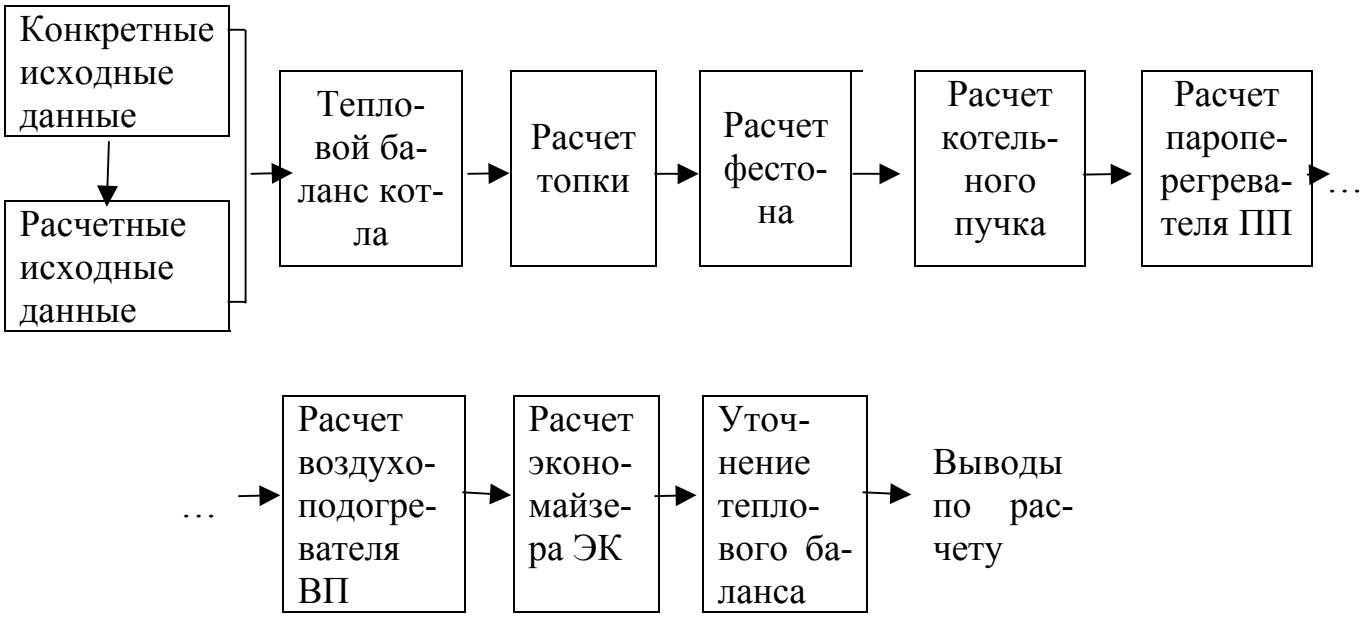
Часть исходных данных, необходимых для расчета котла, известна из задания на проектирование - это конкретные исходные данные. Недостающие исходные данные находятся расчетным путем. В пояснительной записке следует указать, какие исходные данные - конкретные и расчетные - необходимы для теплового расчета проектируемого котла.

Далее поясняется порядок теплового расчета: какие параметры являются исходными, и что определяется в результате расчета каждого из рассматриваемых элементов; дается объяснение, как проверяется правильность расчета при расчетах топочной камеры, фестона и далее последовательно всех поверхностей нагрева; поясняется, каким образом и для чего производится уточнение баланса котла.

Сделать вывод, на основании каких данных тепловой расчет сделан правильно и считается законченным.

В этом же разделе записки указать, какие основные закономерности используются при расчетах радиационных, полурадиационных и конвективных поверхностей нагрева.

Для четкого представления об объеме и последовательности предстоящего расчета рекомендуется привести схему расчета, как это сделано, например, для котла типа ГМ-50-14/250:



В пояснительной записке *к аэродинамическому расчету* указать, какие данные необходимо иметь в качестве исходных для расчета, какие типы сопротивлений встречаются при расчете, задачи расчетов газового и воздушного трактов их цели.

Описать порядок расчета; указать, какие основные параметры необходимо найти для расчетов полного перепада давления по газовому тракту и общего сопротивления воздушного тракта; пояснить, каким образом и какие конкретно выбраны тягодутьевые машины.

Расчетная часть. Этот раздел является основой для анализа работы котла после реконструкции. Общие выводы по проекту, отражающие оптимальность принятых решений по реконструкции котла, могут быть сделаны только после выполнения расчетной части. В пояснительной записке эти выводы помещаются перед списком литературы.

Все расчеты производятся по методике, приведенной ниже, а результаты расчетов оформляются в порядке, рассмотренном ранее.

2.2. Методика теплового расчета

Существуют следующие варианты теплового расчета котлов.

Конструктивный. В этом случае определяются площади нагрева вновь проектируемого или реконструируемого котла.

Поверочный. При этом варианте расчета определяются тепловосприятия всех элементов котла.

Поверочно - конструктивный. Смешанный вариант расчета, выполняемый с изменением отдельных элементов котла.

Расчетные исходные данные. Имея бланк задания с конкретными исходными данными, студент проводит анализ и определяет объем необходимой реконструкции, выбирает вариант теплового расчета, после чего определяет данные, которые будут использованы при расчете.

По справочной литературе [1] необходимо найти *характеристики заданного топлива* (элементарный состав, низшую теплоту сгорания $Q_н^p$ или $Q_н^c$, температурные характеристики золы t_1, t_2, t_3 и выход летучих $V^г$) и *термодинамические параметры пара и воды* по заданным или принятым давлению и температуре (энтальпии питательной воды $h_{пв}$ и перегретого пара $h_{пп}$, температуру насыщенного пара $t_{нп}$, удельные объемы насыщенного $\upsilon_{нп}$ и перегретого $\upsilon_{пп}$ пара).

Значения *давления пара в барабане котла* и *давления питательной воды на входе в водяной* экономайзер можно найти из выражений $P_б$=1,1 $P_{пп}$ и $P_{пв}$=(1,15...1,20) $P_б$, где коэффициент 1,15 относится к котлам высокого давления, а 1,20 - к котлам среднего давления.

По чертежам и описаниям необходимо ознакомиться с устройством и работой котла - прототипа и выбрать способ сжигания заданного топлива и конструкцию топочного устройства ([1], приложение 2, с. 65...70).

По таблице П-8 или П-9 определяется температура уходящих газов, а из приложения 2, с. 72 [1] находим *температуры холодного* и *горячего воздуха*. Если при оценке объема реконструкции котла на жидком или газообразном топливе было принято решение принять одноступенчатую компоновку известного размера воздухоподогревателя, то следует выполнить *поверочный* расчет его (см. соответствующий раздел «Указаний»). По рекомендациям [1] принимаем значения *избытка воздуха в топочной камере* $\alpha_т$ и *присосов* $\Delta\alpha$ *по газоходам* ([1], табл. 16, с. 198, 199).

Если заданы W^p и A^p топлива, отличающиеся от приведенных в [1], то следует сделать *пересчет состава топлива и его теплоты сгорания на заданную влажность и зольность* (см. [1], п. 2 - 06 и 2 – 07). Если задана смесь топлив, то расчет ведется в соответствии с ([1], п. 2 - 21, 2 - 22, 2 – 23).

Теоретический расход воздуха V^o, *теоретические объемы сухих трехатомных газов* V_{RO_2}, *двухатомных газов* $V^o_{N_2}$ и *водяных паров* $V^o_{H_2O}$ в продуктах сгорания определяют по ([1], формулы 4 - 02...4 - 06 или 4 - 13...4 – 16). Далее рассчитывают *действительные объемы продуктов сгорания* по ([1], с. 17,

формула 4 – 1). Здесь же определяют значения *объемных долей трехатомных газов и концентрации пыли* r_{RO_2}, $\mu_{ЗЛ}$, необходимые при расчете радиационного теплообмена ([1], п. 4.07, формула 4 – 11).

После рассчитывают *энтальпии продуктов сгорания, летучей золы и теоретического объема воздуха* по всему газоходу от теоретической до энтальпии уходящих газов. Результаты расчетов рекомендуется записать в таблицу типа 4 - 2 [1].

Имеющихся исходных данных - заданных и расчетных - достаточно для расчета реконструкции котла по любой из рассмотренных методик.

Тепловой баланс котла составляется для стационарного состояния на 1 кг твердого или жидкого или 1 м^3 газообразного топлива при 0°С и 0,102 МПа. Баланс представляется как равенство между суммами составляющих прихода и расхода теплоты в котле. На основании теплового баланса вычисляют КПД:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_{6.шл} + q_{6.охл}),$$

и необходимый расход топлива.

Потеря теплоты с уходящими газами q_2 определяется по ([1], формула (5 - 07)). Потери теплоты с химическим q_3 и механическим q_4 недожогом принимаются по ([1], таблицы 17...19). По кривым рис. 5 - 1 [1] определяется потеря теплоты от наружного охлаждения q_5. Потери теплоты со шлаками $q_{6.шл}$ и на охлаждение панелей и балок $q_{6.охл}$ определяются соответственно по ([1], формулы (5 - 12) и (5 - 13)). Действительный В и расчетный $B_р$ расходы топлива определяются по ([1], формулы (5 - 17) и (5 - 20)).

В качестве приходной части теплоты для твердых и газообразных топлив принимают соответственно $Q^р_н$ и $Q^с_н$, для жидких топлив наряду с $Q^р_н$ учитывается физическая теплота топлива ([1], п. 5 – 04), а при паровом распыле его - теплота, вносимая в топку с паром ([1], п. 5 - 05]).

В соответствии с ([1], с. 66...70, приложение 2) следует принять тип, количество горелок и их размещение в топке. Найдя по [1] производительность горелок (по топливу), следует изучить их конструкцию.

Расчет топки может быть поверочным или конструктивным. В результате поверочного расчета определяется температура газов на выходе из топки. При конструктивном расчете находятся размеры лучевоспринимающих поверхностей, расположенных в топке.

При переводе котла на другой вид топлива или на новую паропроизводительность поверочный расчет чаще всего не дает желаемого результата, так как нарушается оптимальное соответствие между рекомендуемым значением температуры газов на выходе из топки $T_т$ и размерами лучевоспринимающей поверхности.

И все же сначала следует произвести поверочный расчет. Температура газов на выходе из топки может оказаться в допустимом интервале температур, и тогда реконструкция топки будет минимальной.

Значения $T_т$, которыми следует задаваться при поверочном расчете, принимаются тем ниже, чем меньше теплота сгорания топлива и параметры вырабатываемого пара (см. таблицу):

Вид топлива	Значение $Q_н^р$, МДж/кг; $Q_н^с$, МДж/м^3	Рекомендуемый интервал $T_т$, К
Газообразное	14,0…25,0	1170…1270
	25,0…37,0	1220…1470
Мазут	любое	1370…1470
Твердое	менее 21,0	1170…1320
	более 21,0	1270…1420

При *конструктивном* расчете топки оптимальное соответствие между $H_л$ и $F_{ст}$ может быть достигнуто путем изменения среднего коэффициента тепловой эффективности экранов $\psi_{ср}$ (см. ([1], п. 6 – 20)). Практически для этого достаточно закрыть часть экранных труб огнеупорным кирпичом или обмазкой. В этом случае цель теплового расчета топки заключается в определении поверхности экранов, подлежащей изоляции кирпичом или обмазкой, т.е. в определении такого значения $\psi_{ср}$ при рекомендуемой $T_т$, которое обеспечило бы необходимое восприятие теплоты экранными трубами и надежную циркуляцию котловой воды.

При *поверочном* расчете топки по ([1], формула (6 - 30)) определяется температура газов на выходе из топки. Если полученное значение $T_т$ соответствует рекомендованному, а расхождение с принятым перед расчетом значением $T_т$ не превышает 100°С, расчет топки заканчивается.

В случае, когда полученное значение $T_т$ отличается от рекомендованного, или в топке отсутствует зажигательный пояс, необходимый для нового топлива, следует задаться рекомендуемым значением $T_т$ и определить поверхность экранированных стен, подлежащую закрытию зажигательным поясом.

Вначале рекомендуется определить требуемое значение промежуточного параметра $(\zeta H_л)_{тр}$. Для этого графически решается система уравнений

$$(\zeta H_л)_{тр} = \frac{10^{11} B_р Q_л}{5{,}6 Ma_т T_т T_а^3} \sqrt[3]{\frac{1}{M^2}\left(\frac{T_а}{T_т} - 1\right)^2}\,; \qquad (1)$$

$$(\zeta H_л)_{тр} = \psi_{ср} F_{ст}\,. \qquad (2)$$

Задаваясь тремя значениями $\psi_{ср}$ (например, 0,2; 0,4; 0,6), строят зависимости $(\zeta H_л)_{тр}$ от $\psi_{ср}$ в одном координатном поле. Точка пересечения графических решений уравнений (1) и (2) дает искомые значения $\psi_{ср}$ и $(\zeta H_л)_{тр}$.

Количество теплоты $Q_л$, воспринятой в топке на 1 кг или 1 м^3 топлива, параметр М, степень черноты топки $\alpha_т$ и другие рассчитываются, как это рекомендовано в ([1], глава 6).

Решение о реконструкции принимается после сравнения значений требуемого параметра $(\zeta H_л)_{тр}$ и располагаемого $(\zeta H_л)_{тр}=\zeta\chi Fc_т$, где ζ и χ - соответственно коэффициент загрязнения и степень экранирования топки до реконструкции:

$$\Delta(\zeta H_л) = (\zeta H_л)_р - (\zeta H_л)_{тр}. \qquad (3)$$

При $\Delta(\zeta H_л)>0$ необходимо закрыть часть экранированной поверхности топки, при $\Delta(\zeta H_л)<0$ - увеличить лучевоспринимающую поверхность в топке, при $\Delta(\zeta H_л)=0$ - лучевоспринимающая поверхность топки остается без изменения.

Найденное значение $(\zeta H_л)_{тр}$ в общем случае определяется выражением

$$(\zeta H_л)_{тр} = \zeta_о x_о^{ср}\left(F_{ст} - F_{ст}^3\right) + \zeta_3 x_3 F_{ст}^3, \qquad (4)$$

где ζ_3 и $\zeta_о$ - условные коэффициенты загрязнения соответственно закрытого и открытого экранов ([1], табл. 6.2); x_3 и $x_о^{ср}$ - угловые коэффициенты экранов, определяемые по ([1], п. 6 – 04) и формуле

$$x_о^{ср} = \sum_{i=1}^{n} x_{оi} \frac{F_{сті}}{F_{ст}},$$

$F_{ст}^3$ - площадь поверхности и стен, занятая закрытыми экранами.

Поверхность зажигательного пояса, м

$$F_{ст}^3 = -\frac{\Delta(\zeta H_л)}{\zeta_о x_о^{ср} - \zeta_3 x_3}. \qquad (5)$$

В конце расчета топки определяют значение объемной плотности тепловыделения:

$$q_V = \frac{BQ_н^р}{V_т},$$

которое должно быть ниже допустимого ([1], табл. 17:..21).

Закрывают экраны (устраивают зажигательный пояс) в первую очередь

вокруг горелок и на переднем скате холодной воронки. При значительной площади закрываемых экранов зажигательный пояс можно располагать и на других стенах. Не рекомендуется располагать его на стенах против горелок, так как он быстро разрушается от воздействия факела.

Значительная поверхность $F_{ст}^{3}$ может нарушить естественную циркуляцию в экранных трубах, поэтому не следует допускать, чтобы $F_{ст}^{3}$ была более 0,4 $F_{ст}$ для каждого циркуляционного контура и всех парогенерирующих поверхностей в целом.

Расчет фестона. Реконструкцию фестона обычно не производят, поэтому используется *поверочный* метод расчета ([1], п. 8 – 04).

Задаются двумя значениями температуры газов за фестоном (например, $\vartheta''_{ф1} = (\vartheta_т - 50)^{o}C$ и $\vartheta''_{ф2} = (\vartheta_т - 100)^{o}C$); определяют по уравнению теплового баланса количества теплоты, воспринятые фестоном, для каждой из принятых температур $Q_{б1}$ и $Q_{б2}$ ([1], формула (7 - 02)); рассчитывают соответствующие значения температурных напоров и коэффициентов теплопередачи и по ([1], формула (7 - 01)) определяют количества теплоты, передаваемые фестону по условию теплообмена $Q_{т1}$ и $Q_{т2}$. За окончательное принимается такое значение $\vartheta''_{ф}$, для которого расхождение между $Q_б$ и $Q_т$ не превышает 5%. При больших расхождениях расчет следует повторить в соответствии с указаниями ([1], п. 8 – 04).

За расчетную поверхность фестона принимается полная поверхность

$$H_р = \pi d \sum_{n=1}^{z_2} l_n z_{1n}, \qquad (6)$$

где d - диаметр труб, м; l_n - длина труб в ряду n, м; z_{1n} - количество труб в ряду n; z_2 - количество рядов труб, а лучевоспринимающая поверхность фестона

$$H_л = x b l_ф, \qquad (7)$$

где x - угловой коэффициент, равный 1; b - расстояние между осями крайних труб, м; $l_ф$ - освещенная длина труб фестона, определяемая в соответствии с ([1] рис. 6 – 1).

При проведении расчета рекомендуется составлять эскиз рассчитываемой поверхности с указанием размеров s_1, s_2, $b+l_ф$, d и т.д. и изменения температурного напора (рис. 1, где а - конструктивная схема; б - изменение температуры рабочих тел).

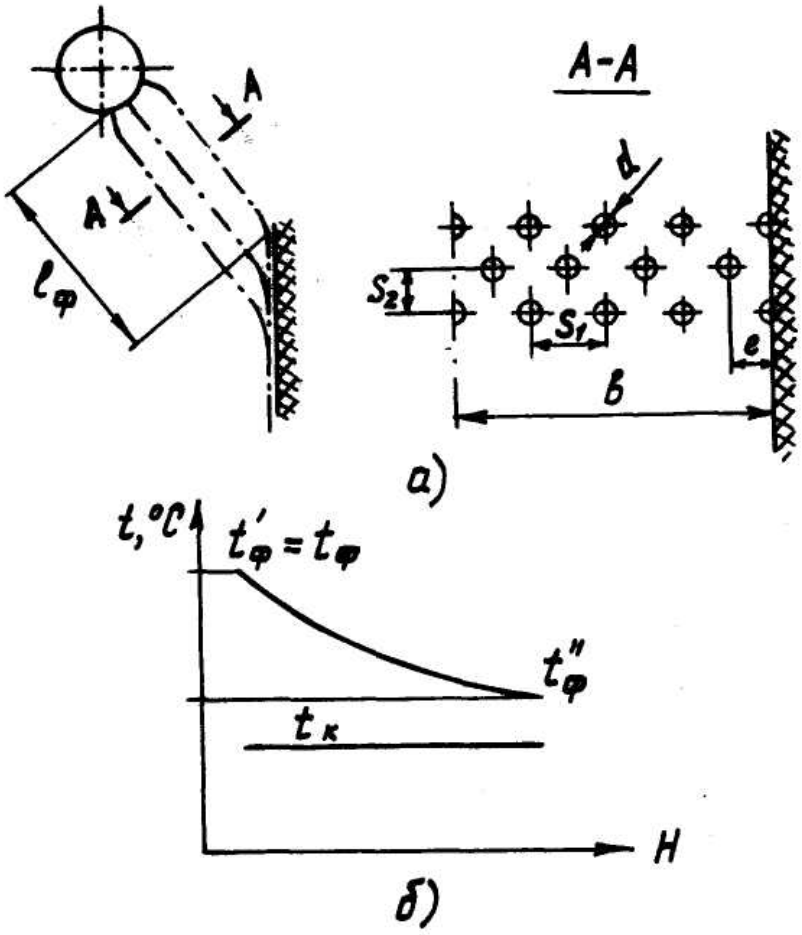


Рис. 1

Расчет котельного пучка. При *конструктивном* расчете по заданной температуре газов за котельным пучком определяется поверхность нагрева пучка ([1], формула (7 - 01)).

При числе рядов фестона меньше 0 часть лучистой теплоты воспринимается котельным пучком. Для учета ее следует воспользоваться формулой (8 - 10) [1], а $H_л$ можно вычислить, как это показано в (7).

Поверочный расчет производится так же, как это показано выше для фестона. Для ускорения расчетов допускается рассчитывать фестон и пучок совместно. Для котельного пучка расхождение между $Q_б$ и $Q_т$ не должно превышать 2%.

Расчет пароперегревателя. Перед тепловым расчетом пароперегревателя изучаются его конструкция, условия работы, составляется принципиальная схема с необходимыми геометрическими характеристиками (рис. 2, где а - конструктивная схема; б - изменение температуры рабочих тел).

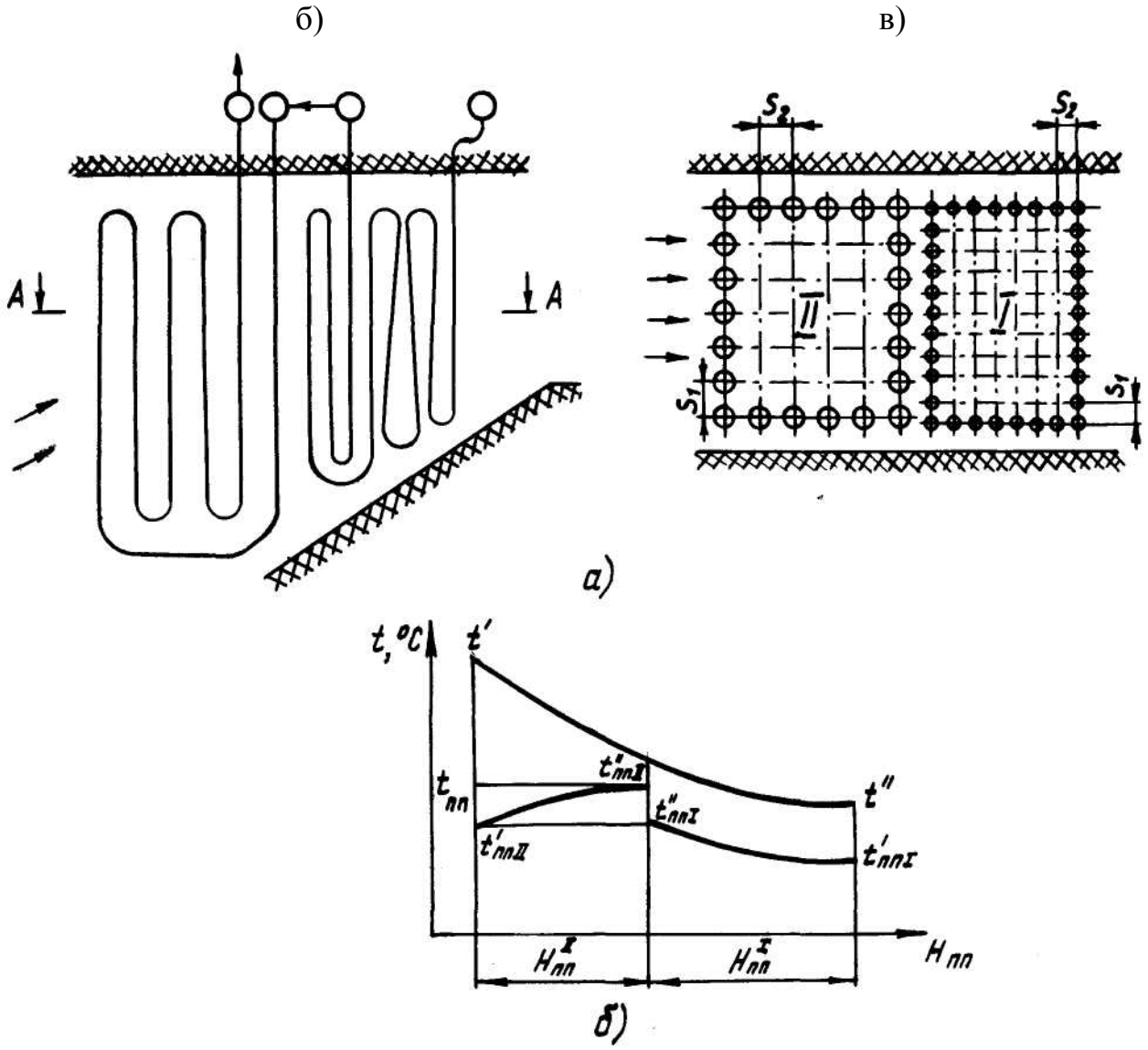


Рис. 2

Тепловой *поверочный* расчет пароперегревателя выполняется в соответствии с ([1], § 8 – В).

Начинать расчет следует с определения тепловосприятия, кДж/кг.

$$Q_{пп} = \frac{D}{B_р}\left(h_{пп} - h_{нп} + \Delta h_{по}\right) - Q_л . \qquad (8)$$

Тепловосприятие пароохладителя $\Delta h_{по}$ принимают от 20 до 60 кДж/кг.

Лучистая теплота $Q_л$, полученная конвективным пароперегревателем, зависит от вида поверхности, отделяющей топку от перегревателя. Если это ширмовые поверхности, то следует воспользоваться уравнением 7 – 06 [1]. Если между топкой и пароперегревателем расположены фестон и котельный пучок, $Q_л$ определяется с учетом ([1], формулы (6 - 74), (8 - 10) и п. 6 – 04).

$$Q_л = \frac{(1 - x_{пуч}) q_{лв} H_{лп}}{B_р}. \quad (9)$$

Далее по ([1], 7 – 02) определяют энтальпию газов за пароперегревателем и по H - ϑ - таблице - температуру.

Расчет коэффициента теплопередачи ведут в соответствии с ([1], § 7 – Б).

Порядок дальнейшего расчета пароперегревателя выбирают с учетом расположения пароохладителя и характера взаимного движения газа и пара.

При включении пароперегревателя по схемам, отличающимся от прямотока или противотока, сначала определяют температурные напоры для вариантов «прямоток» и «противоток». Если $\frac{\Delta t_{прм}}{\Delta t_{прт}} < 0{,}92$, то температурные напоры для каждой ступени пароперегревателя следует считать отдельно.

При этом необходимо правильно выбрать коэффициент пересчета ψ от противоточной схемы к более сложной (см. [1], рис. 7 - 12 и § 7 - В).

Обычно при переводе котельной установки на другой вид топлива необходимо изменить площадь нагрева пароперегревателя. Целесообразно изменить поверхность, изготовленную из более дешевых сортов стали. Для этой части пароперегревателя производится *конструктивный* тепловой расчет (см. [1], п. 8 - 01).

После определения необходимой поверхности производится уточнение расположения этой части в газоходе котла и делается вывод о конструктивных изменениях (числе петель, их расположении и т.д.). При значительном увеличении поверхности может возникнуть необходимость в более глубокой реконструкции: изменении диаметра труб, шагов и т.д.

Для неизменяемой части пароперегревателя производится поверочный расчет, порядок и общая схема которого одинаковы с расчетом фестона, котельного пучка.

Особенности расчета воздухоподогревателя и водяного экономайзера. Приступая к тепловому расчету воздухоподогревателя и водяного экономайзера, следует продумать и выбрать такие методику и порядок расчета, которые привели бы к минимальной реконструкции воздухоподогревателя и водяного экономайзера котла - прототипа.

При одноступенчатой компоновке этих поверхностей нагрева метод расчета зависит от очередности расчета топки и воздухоподогревателя.

Если расчет топки уже выполнен, то температура горячего воздуха $t_{гв}$ уже принята, тогда следует выбрать конструктивный метод расчета. Если же при анализе предстоящей реконструкции принималось решение сохранить неизменным воздухоподогреватель или одну из его ступеней (при двухступенчатой компоновке), то метод расчета будет поверочный, но сначала рассчитывается воздухоподогреватель, а затем - топка, где используется найденное значение $t_{гв}$.

Очередность расчета воздухоподогревателя и экономайзера при одноступенчатой их компоновке принципиального значения не имеет.

При двухступенчатой компоновке (в рассечку) метод расчета каждой ступени зависит от компоновки воздухоподогревателя и экономайзера в реконструируемом котле.

Если он имеет двухступенчатую компоновку, то минимальный объем реконструкции может быть достигнут использованием без изменения первых ступеней воздухоподогревателя и экономайзера. В этом случае их рассчитывают поверочным методом, а конструктивны расчет вторых ступеней позволит обеспечить требуемые $t_{гв}$ и энтальпию воды на входе в барабан $h''_{пв}$.

Если котел - прототип имеет одноступенчатую компоновку воздухоподогревателя и экономайзера, то при реконструкции котла с переходом на двухступенчатую компоновку, чаще всего конструктивным методом, приходится считать каждую ступень и подвергать их значительным переделкам или изготавливать новые. Использование имеющихся воздухоподогревателя и экономайзера в качестве одной из ступеней редко дает удовлетворительное решение, так как переход на двухступенчатую компоновку обычно связан с существенными изменениями характеристик топлива или режима работы котельной установки.

При незначительных изменениях качественных характеристик топлива и режима работы котла можно не реконструировать эти поверхности. В любом случае условия работы воздухоподогревателя и экономайзера должны удовлетворять условиям ([1], приложение 2, в, г).

Кроме этого, следует учесть:

1) по условиям надежной работы воздухоподогревателя, изготовленного из углеродистой стали, температура дымовых газов на входе в него не должна превышать (600...530)°С;

2) температура газов после второй ступени и перед первой ступенью воздухоподогревателя должна быть на (10...20)°С больше соответственно $t''_{пв}$ и $t'_{пв}$;

3) температура воды на входе во вторую ступень экономайзера должна быть ниже температуры кипения на ~ 40°С. Это условие обеспечивает равномерность распределения воды по параллельным змеевикам экономайзера.

Расчет воздухоподогревателя. *Поверочный расчет* начинают с изучения всех конструктивных характеристик: наружного и внутреннего диаметров труб, поперечного и продольного шагов труб, количества ходов воздуха, живого сечения для прохода воздуха. Поверхность воздухоподогревателя определяют по среднему диаметру труб, а сечения для прохода газа и воздуха - по формулам (7 - 26) и (7 - 25) [1].

Порядок теплового поверочного расчета воздухоподогревателя описан в п. 8 - 05 и 8 - 06, а общие указания - в § 8 – 3 [1].

При расчете одноступенчатого воздухоподогревателя или первой ступени двухступенчатого следует задаться двумя значениями температуры воздуха на выходе ступени $t''_{в1}$ и $t''_{в2}$ и рассчитать соответствующие количества теплоты $Q_{б1}$ и $Q_{б2}$, воспринимаемые ступенью по уравнению теплового баланса, кДж/кг,

$$Q_б = \left(\beta'' + \frac{\Delta\alpha_{вп}}{2}\right)\left(H''^{o}_{в} + H^{o}_{хв}\right). \qquad (10)$$

Далее определяют энтальпии дымовых газов перед воздухоподогревателем, соответствующие принятым температурам $t''_{в1}$ и $t''_{в2}$, кДж/кг

$$H'_г = H_{уг} + \frac{Q_б}{\varphi} - \frac{\Delta\alpha_{вп}}{2}\left(H^{o}_{хв} + H''^{o}_{в}\right), \qquad (11)$$

а по ним - температуры газов (по H - ϑ - таблице при $\alpha''_{эк}$). Скорости воздуха и газов при средних температурах каждого потока рассчитывают по ([1], формулы (7 - 21) и (7 - 22)), а коэффициент теплопередачи - в соответствии с ([1], § 7 – Б).

Температурный напор рассчитывают в соответствии с ([1], п. 7 - 64 и 7 – 68).

По формуле (7 - 01), [1] определяют количества теплоты $Q_{т1}$ и $Q_{т2}$, передаваемые воздухоподогревателю по условиям теплообмена; затем определяют действительное значение $t''_в$ расчетом или графически, исходя из условия, что $Q_б$=$Q_т$.

Для действительного $t''_в$ определяют температуру газов перед воздухоподогревателем.

Поверочный расчет второй ступени воздухоподогревателя может быть выполнен аналогично, но предварительно требуется рассчитать первую ступень экономайзера для определения температуры дымовых газов за второй ступенью воздухоподогревателя.

При *конструктивном расчете* одноступенчатого воздухоподогревателя или первой ступени при двухступенчатой его компоновке обычно известны температура уходящих газов $\vartheta_{уг}$,

температуры воздуха на выходе $t'_в$ и выходе $t''_в$ ступени (рис. 3 и 4). Определив по балансовому уравнению (10) количество теплоты, воспринятой воздухоподогревателем, по уравнению (11) находят энтальпию и температуру (по H - ϑ - таблице) газов перед воздухоподогревателем.

Для расчета коэффициента теплопередачи необходимо знать конструктивные характеристики воздухоподогревателя, а также скорости воздуха и газов.

Диаметр труб d, относительный поперечный шаг σ_1, скорость газов $w_г$ и скорость воздуха $w_в$ принимают по рекомендациям ([1], приложение 2). Затем определяют число труб по ширине шахты $z_1 = \frac{(\alpha - s_1)}{s_1}$ ([2], п. 10.5), и полное число труб воздухоподогревателя:

$$z = \frac{B_p V_г (\vartheta + 273)}{0{,}785 d_{вн}^2 w_г 273}. \qquad (12)$$

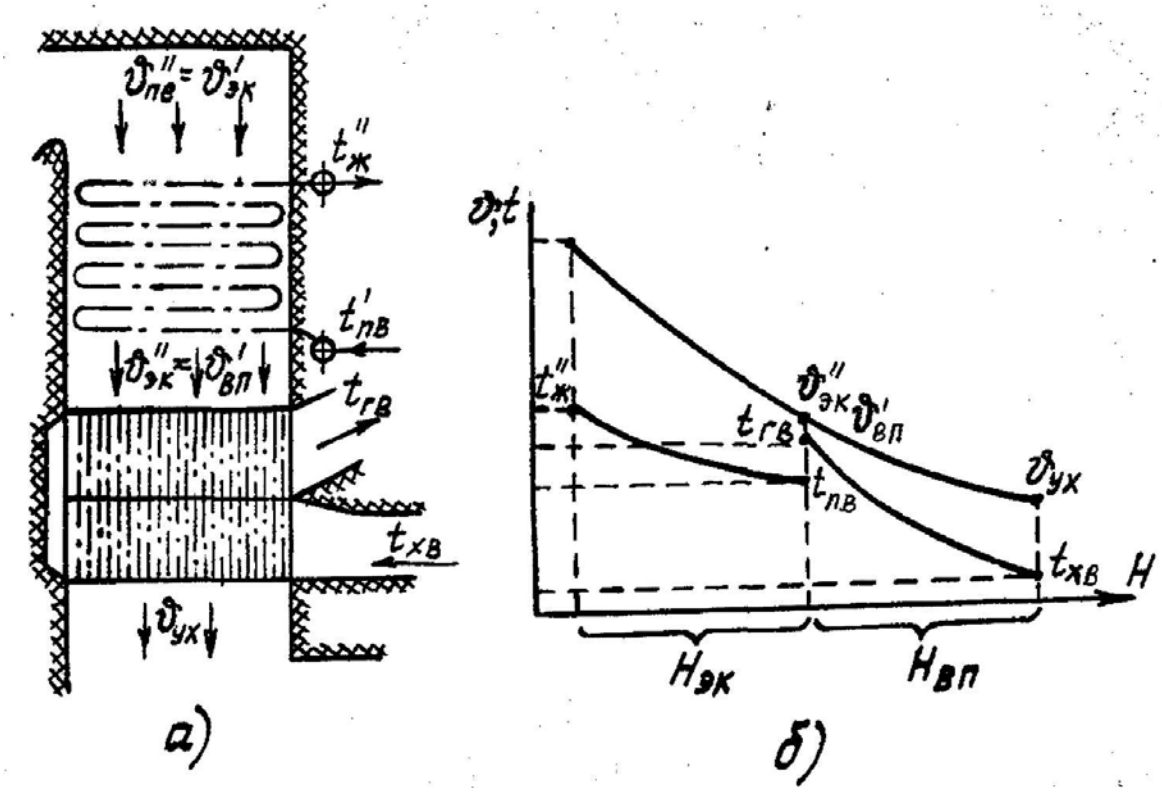


Рис. 3

Затем определяют число рядов и шаг труб по глубине шахты: $z_2 = \frac{z}{z_1}$; $s_2 = \frac{b}{z_2 - 1}$.

Чтобы сечение для прохода воздуха в диагональных зазорах между трубами было не меньше поперечного сечения, должно быть выдержано соотношение $\sigma_2 \geq \sqrt{0{,}5\sigma_1 + 0{,}25}$.

При реконструкции котельной установки следует стремиться к использованию существующего воздухоподогревателя. При этом скорости газов рассчитываются с учетом его конструктивных характеристик по формуле (12). Скорость воздуха принимают в соответствии с рекомендациями [1]. Коэффициент теплопередачи и температурный напор определяют в соответствии с ([1], § 7 - Б и п. 7 - 64 и 7 – 68), а теплообменную поверхность, м^2 -

$$H = \frac{B_p Q_б 10^3}{k \Delta t}. \qquad (13)$$

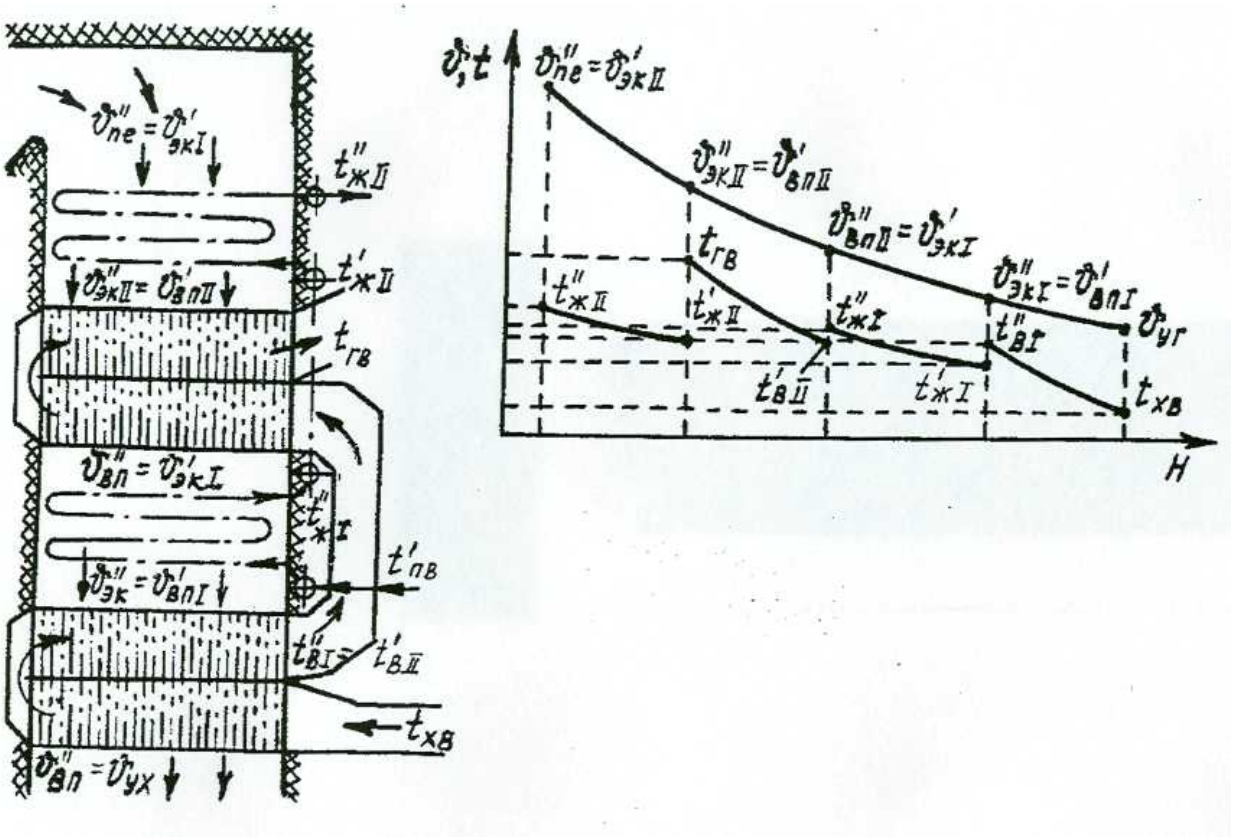


Рис. 4

Далее принимается окончательное решение по реконструкции (высота хода, число ходов и т.д.).

Высота одного хода по воздуху, м

$$h_x = \frac{\left(\beta'' + \frac{\Delta\alpha_{вп}}{2}\right) V^o B_p \left(t_в^{ср} + 273\right)}{273(\alpha - z_1 d) w_в}. \qquad (14)$$

Число последовательных ходов $z_x = \frac{h_{пв}}{h_x}$, где $h_{пв} = \frac{H}{\pi d_{ср} z}$ - высота трубной поверхности воздухоподогревателя.

Число ходов должно быть целым. Нецелое значение округляется до ближайшего целого, и производится уточнение скорости воздуха, а затем и коэффициента теплопередачи, если скорость воздуха изменилась более чем на 10%.

При двухступенчатой компоновке воздухоподогревателя температура воздуха на выходе из первой ступени принимается равной ~ ($t_{вп}$+10...20)°С. В ряде случаев, например для борьбы с низкотемпературной коррозией, температура воздуха на входе ступени повышается до (50...70)°С путем подогрева в паровых или электрических калориферах или применения частичной рециркуляции горячего воздуха. Тепловой расчет воздухоподогревателя ведется по дейст-

вительной температуре воздуха $t'_{вп}$, а не $t_{хв}$. ([1], п. 8 – 49).

Если часть воздуха после первой ступени отбирается и направляется в сушильно - мельничную систему или на рециркуляцию, то расчет ступеней воздухоподогревателя должен быть проведен на фактическое количество воздуха.

Расчет водяного экономайзера. *Поверочный расчет* экономайзера чаще всего выполняется для первой ступени (при двухступенчатой его компоновке, рис. 4).

Задавшись значением температуры газов до первой ступени экономайзера, находят ее тепловосприятие, кДж/кг:

$$Q_б = \varphi\left(H'_{эк1} - H''_{эк1} + \Delta\alpha_{эк1} H^{o}_{прс}\right). \qquad (15)$$

Затем подсчитывают энтальпию воды на выходе ступени, кДж/кг:

$$h''_{эк1} = h'_{пв} + \frac{Q_б B_р}{D_{эк}} \qquad (16)$$

и по таблицам определяют ее температуру (при $P_{пв} \cong 1{,}20\ P_б$).

Если до экономайзера установлен поверхностный пароохладитель со сбросом охлаждающей воды в линию питательной воды до экономайзера, то

$$h'_{пв} = h_{пв} + \Delta h_{по} \frac{D}{D_{эк}}.$$

Расход питательной воды через экономайзер $D_{эк}$, кг/с

$$D_{эк} = (1 + p)D, \qquad (17)$$

где p=0,01...0,03 - доля продувочной воды.

Зная конструктивные характеристики ступени экономайзера (поверхность нагрева, диаметр труб, шаги и др.) и определив коэффициент теплопередачи (7 - 15, б) и температурный напор ([1], (7 – 75)), подсчитывается тепловосприятие этой ступени, кДж/кг:

$$Q_т = \frac{H_{эк1} \Delta tk}{B_р}.$$

При расхождении $Q_б$ и $Q_т$ более чем на 2%, расчет следует повторить.

Конструктивный расчет экономайзера производится при его одноступенчатой компоновке или для второй ступени при двухступенчатой.

В целях минимальных переделок при реконструкции рекомендуется сохранять при расчетах геометрические размеры газоходов и поверхностей нагрева (диаметры труб, шаги труб и т.д.).

Из предыдущего расчета пароперегревателя и воздухоподогревателя известны температуры газов на входе и выходе экономайзера. Определяется тепловосприятие экономайзера по балансовому уравнению, кДж/кг:

$$Q_б = \varphi\left(H'_{эк} - H''_{эк} + \Delta\alpha_{эк} H^{о}_{прс}\right),$$

и расчетное тепловосприятие экономайзера как замыкающей поверхности пароводяного тракта, кДж/кг:

$$Q_{эк} = Q^{р}_{р}\eta\frac{100}{100 - q_4} - \left(Q_л + Q_ф + Q_{кп} + Q_{пп}\right). \qquad (18)$$

Сходимость теплового баланса котла считается удовлетворительной, если тепловосприятия экономайзера, рассчитанные по формулам (15) и (18), имеют невязку менее 0,5%.

Энтальпию и температуру воды на выходе экономайзера определяют из выражения, кДж/кг

$$h''_{пв} = h'_{пв} + \frac{B_р Q_{эк}}{D_{эк}}.$$

Рассчитывают коэффициент теплопередачи и температурный напор, а затем по формуле ([1], (7 - 01)) - необходимую поверхность экономайзера.

В случае «кипящего» экономайзера ($x \leq 30\%$), для определения температурного напора вместо конечной температуры воды подставляют условную температуру ([1], формула (7 - 89), п. 7 – 73).

Для «кипящего» экономайзера температура воды на выходе из первой ступени должна быть ниже температуры кипения не менее чем на 40°С.

После определения поверхности экономайзера необходимо рассчитать его конструктивные параметры ([2], (10 - 4)). Новое число петель

$$z_{пет} = \frac{l_{зм}}{2\alpha'},$$

где $l_{зм} = \frac{H_{эк}}{\pi dz}$ - длина каждого змеевика, м; α' - длина пакета экономайзера, м; z - полное число труб экономайзера, включенных параллельно. Полная высота пакета экономайзера, м, $h_{эк} = z_{пет} s_{пет}$, где $s_{пет} = 2s_2$ - шаг одной петли экономайзера. Экономайзерные поверхности компонуются пакетами высотой (1,0...1,5) м с разрывами в (0,6...0,8) м.

При реконструкции котла следует стремиться сохранить существующую конструкцию конвективных поверхностей. Получающиеся при расчетах скорости газов, воздуха, пара и воды необходимо сравнивать с рекомендуемыми в [1]. И только в случае резкого расхождения расчетных и рекомендуемых значений следует изменять размеры газоходов, диаметры и число труб, шагов s_1 и s_2 с целью приближения расчетных значений к нормативным.

Уточнение теплового баланса. Если полученная в результате теплового поверочного расчета температура уходящих газов отличается от принятой не более, чем на 10°С, температура горячего воздуха - не более чем 40°С, расчет теплообмена считается законченным. Далее уточняются потери теплоты с уходящими газами, КПД и расход топлива. По *расчетному* значению температуры горячего воздуха и *найденной* при расчете топки $\vartheta_т$ уточняется тепловосприятие лучевоспринимающих поверхностей, отнесенное к 1 кг

В заключение определяется расчетная невязка теплового баланса, кДж/кг:

$$\Delta Q = Q_р^р \eta - \left(Q_л + Q_{ср} + Q_{кп} + Q_{пп} + Q_{эк}\right)\left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \qquad (19)$$

куда подставляются *уточненные* значения параметров.

Относительная невязка $\delta Q = \frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_р^р}$ не должна превышать 0,5 % $Q_р^р$.

Окончательные результаты теплового расчета реконструкции котельной установки сводятся в таблицу, затем делаются выводы по тепловому расчету.

2.3. Методика выполнения аэродинамического расчета реконструированной котельной установки

Целью аэродинамического расчета (расчета тяги и дутья) является определение производительности тяговой и дутьевой систем и перепада полных напоров в газовом и воздушном трактах для последующего выбора тягодутьевых машин.

Расходы воздуха в дутьевой и газа в тяговой системах определяются по данным теплового расчета для номинальной нагрузки котла.

Перепады полных напоров в газовом и воздушном трактах определяются по рекомендациям [3] и зависят от сопротивления трактов.

Все сопротивления разделяются на три группы:
1) сопротивление трения, т.е. сопротивление при течении потока в прямом канале, в том числе при продольном омывании пучка труб ([3], п. 1 - 11...1 - 15, рис. 7 - 3...7 – 5);
2) сопротивление поперечно омываемых трубных пучков ([3], п. 1 - 16...1 - 25, рис. 7 - 6...7 – 9);
3) местные сопротивления. К ним относятся: сопротивление, вызванное изменением сечения ([3], п. 1 - 27, графики 7 - 10...7 – 14); отводы и колена ([3], п. 1 - 28...1-35, рис. 7 - 15...7 – 19); повороты в пучках труб ([3], п. 1 – 36); тройники ([3], п. 1 - 37...1 - 42, рис. 7 - 20...7 – 25); раздающие и собирающие коробы ([3], п. 1 – 43).

Для расчета аэродинамики котла задаются исходными данными: полученными при тепловом расчете (диаметры и расположение труб, шаги труб, длина продольно омываемых труб, число рядов по ходу газов, средние температуры и скорости газов и воздуха по участкам газового и воздушного трактов) и дополняющими их (динамическое давление, определяемое по ([3], график 7 – 2), поправочный коэффициент К - по ([3], таблица 7 – 5), объемы воздуха по участкам). Рекомендации по определению общих исходных данных (см. [3], раздел 1 - Д).

Затем вычерчивают схему котла и газовоздухопроводов (как на рис. 8 или упрощенную), принимают вариант золоулавливающей установки (при работе котла на пылевидном топливе) и приступают к аэродинамическому расчету.

Если имеется аэродинамический расчет котла - прототипа, то можно воспользоваться методикой упрощенного пересчета перепада полных напоров в газовом и воздушном трактах ([3], приложение 4). В противном случае все расчеты ведутся в полном объеме по [3]. Расчеты сводятся в таблицы (см. тепловой расчет) и помещаются в приложении к проекту (см. раздел 3.1 настоящих «Указаний»).

Расчет газового тракта. Перепад полных напоров по газовому тракту при искусственной тяге определяется по формуле, Па

$$\Delta H_{п} = h''_{т} + \Delta H \pm H_{с}, \qquad (20)$$

где $h''_{т}$ - разрежение на выходе из топки, принимается ~20 Па; ΔH - суммарное сопротивление газового тракта без учета самотяги и поправки на запыленность, удельный вес газов и давление; $H_{с}$ - суммарная самотяга газового тракта.

Порядок расчета газового тракта: сначала подсчитываются все сопротивления газового тракта, затем они корректируются умножением на поправочный коэффициент К, затем подсчитывается самотяга по отдельным участкам тракта, затем суммируются отдельные сопротивления, сумма корректируется поправкой, отдельно суммируется самотяга без поправок и, наконец, подсчитывается $\Delta H_{п}$ в соответствии с (20).

Сопротивление газового тракта складывается из сопротивлений газохода

котла и сопротивлений газопровода.

Расчет сопротивлений элементов *газохода котла* производится отдельно для котельных пучков (фестон с числом рядов труб не более 5 при скорости газов $w_г<10$ м/с отдельно не учитывается), ([3], раздел 2 – Г); для змеевиковых пучков (перегреватели, гладкотрубные экономайзеры, ширмы) ([3], раздел 2 – В); для пучков труб ребристых и плавниковых экономайзеров ([3], раздел 2 – Д); для воздухоподогревателей любого типа ([3], раздел 2 – Е).

Расчет сопротивлений *газопровода* проводится отдельно для каждого из следующих элементов: участок газопровода воздухоподогреватель - золоуловитель; участки золоуловитель - дымосос и за дымососом ([3], п. 2 - 28...2 – 30).

Местные сопротивления газопровода представляют собой повороты, разветвления, изменения сечения и шиберы (заслонки). Расчеты их производятся в соответствии с ([3], п. 2 – 31).

Отдельно рассчитываются потери напора в присоединительных участках газопровода и воздухопровода к тягодутьевым машинам ([3], п. 2 – 32); в диффузорах, установленных за дымососом или вентилятором ([3], п. 2 – 33), и на входе в дымовую трубу ([3], п. 2 – 34).

В сумму сопротивления газового тракта ΔH входят также рассчитываемые отдельно сопротивление золоуловителя ([3], раздел 2 – З) и сопротивление дымовой трубы ([3], раздел 2 – И).

Поправки к сопротивлению тракта находят по рекомендациям ([3], п. 2 - 49…2 – 50).

Самотяга в газопроводах определяется ([3], раздел 2 – К) для двух участков: от выхода из воздухоподогревателя до конца диффузора после дымососа и от него до конца дымовой трубы; размеры по высоте Н берутся непосредственно по разности отметок конечных сечений, а температура принимается для обоих участков равной температуре газов у дымососа.

Далее по формуле (20) подсчитывается $\Delta H_п$. Этот перепад служит для выбора дымососа или для расчета высоты дымовой трубы при естественной тяге ([3], раздел 2 – М).

В заключение проверяется отсутствие подпора за дымососом ([3], п. 2 - 59).

Расчет воздушного тракта. Перепад полных напоров по воздушному тракту при искусственной тяге определяется по формуле, Па

$$\Delta H_п = \Delta H \pm H_с - h'_т, \qquad (21)$$

где $h'_т$ - разрежение в топке на уровне ввода воздуха в топку, Па

$$h'_т = h''_т + 0{,}95H',$$

где H' - расстояние по вертикали между сечениями выхода газов из топки и

ввода воздуха в топку, Па.

Порядок расчета воздушного тракта: сначала подсчитываются все сопротивления воздушного тракта, суммируются, вносится поправка на давление, рассчитывается самотяга воздушного тракта и разрежение в топке на уровне ввода воздуха, затем подсчитывается перепад по формуле (21).

Сопротивление трения воздухопровода холодного воздуха подсчитывается в соответствии с рекомендациями ([3], п. 3 – 3), местные сопротивления его ([3], п. 2 – 31), сопротивление участков, непосредственно примыкающих к вентилятору, - ([3], п. 2 - 32 и 2 – 33).

За воздухопроводом холодного воздуха перед воздухоподогревателем может быть установлен калорифер. Расчет его сопротивления производится по рекомендациям ([3], раздел 3 – В), а расчет сопротивления воздухоподогревателя любого типа – ([3], раздел 3 – Г).

За воздухоподогревателем рассчитывают сопротивление воздухопровода горячего воздуха ([3], раздел 3 – Д) и, наконец, сопротивление топочных устройств ([3], раздел 3 – Е).

Найденные сопротивления суммируются и вносится поправка ([3], п. 3 – 21), в результате чего определяется ΔH.

Самотяга воздушного тракта подсчитывается только для двух участков. Первый - это воздухоподогреватель, для которого расчетная высота принимается равной разности отметок ввода воздухопровода холодного воздуха и вывода воздухопровода горячего воздуха. Второй участок - весь воздухопровод горячего воздуха, расчетная высота которого принимается равной разности отметок вывода воздухопровода горячего воздуха из воздухоподогревателя и входа в топку. Расчет самотяги производится по рекомендациям ([3], п. 3 – 20).

Затем подсчитывают $h'_т$, определяют $\Delta H_п$ по (21). Этот перепад используется при выборе вентилятора.

Выбор дымососов и вентиляторов. Выбор вентилятора или дымососа сводится к подбору машины, обеспечивающей с необходимым запасом требуемые производительность и напор и потребляющей при принятом способе регулирования наименьшее количество энергии при эксплуатации. Исходя из этого, предлагается следующий порядок выбора машины.

Вначале определяются расчетная производительность и расчетный полный напор машины по ([3], формулы (4 - 3) и (4 - 4)), затем напор пересчитывается на те условия, для которых дается характеристика машины заводом - изготовителем ([3], формула (4 - 5)).

Далее по сводным графикам характеристик серийных машин ([3], графики 7 - 30...7 – 38) выбираются машины, удовлетворяющие требуемым параметрам. Затем принимают способ регулирования ([3], п. 4 - 11...4 – 18) и рассчитывают оптимальный вариант по выбору машины, исходя из условий эксплуатационной экономичности ([3], п. 4 - 12, 4 - 23; приложение 6). Электродвигатель к машине выбирается по рекомендациям ([3], раздел 4 – В).

Рекомендации по выбору нескольких машин при работе их на одну сеть приведены в ([3], раздел 3-З).

3. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Графическая часть проекта состоит из схем, рисунков, графиков и чертежей.

Для котельной установки, работающей на органическом топливе, должна быть приведена ее технологическая схема (см., например, рис. 5, где 1 - бункер сырого угля; 2 - сушилка; 3 - сушильный агент; 4 - мельница; 5 - вентилятор; 6 - котел; 7 - дымосос; 8 - батарейный циклонный пылеуловитель; 9 - электрофильтр; 10 - дымовая труба; Ф - фильтр на входе поступающей в котельную воды; ХО - химводоподготовка; ДЭУ - установка деаэрирования воды).

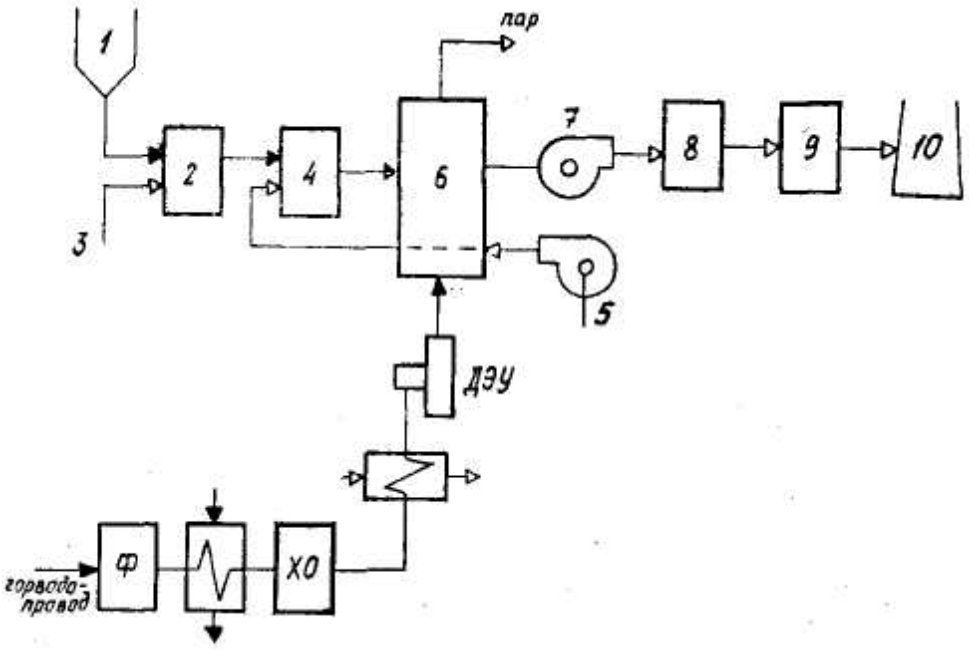


Рис. 5

Если в качестве курсового проекта выполняется реконструкция котла-утилизатора; котла, топливом для которого являются отходы основного производства (например, доменный и коксовый газы) и т.п., то необходимо привести схему с указанием места котла (парогенератора) в общем технологическом цикле. Например, на рис. 6 показано место парогенератора с принудительной циркуляцией в схеме комплексного использования охлаждения уходящих газов мартеновской печи, где 1, 2, 3 - соответственно газовые кессоны, рамы завалочных окон и подпятовые балки мартеновской печи, охлаждаемые котловой водой; 4 - барабан парогенератора; 5 - испарительные поверхности; 6 - водяной экономайзер; 7 - пароперегреватель; 8 - циркуляционные насосы.

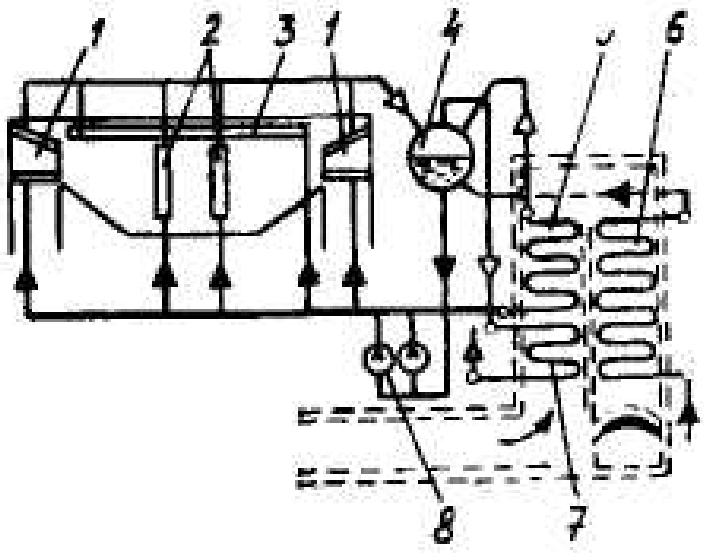


Рис. 6

На рис. 7 показано место парогенератора с естественно - принудительной циркуляцией в схеме энерготехнологического агрегата для обжига колчедана, где 1 - печь с кипящим слоем; 2 - испарительные элементы; 3 - парогенератор на отходящих газах печи.

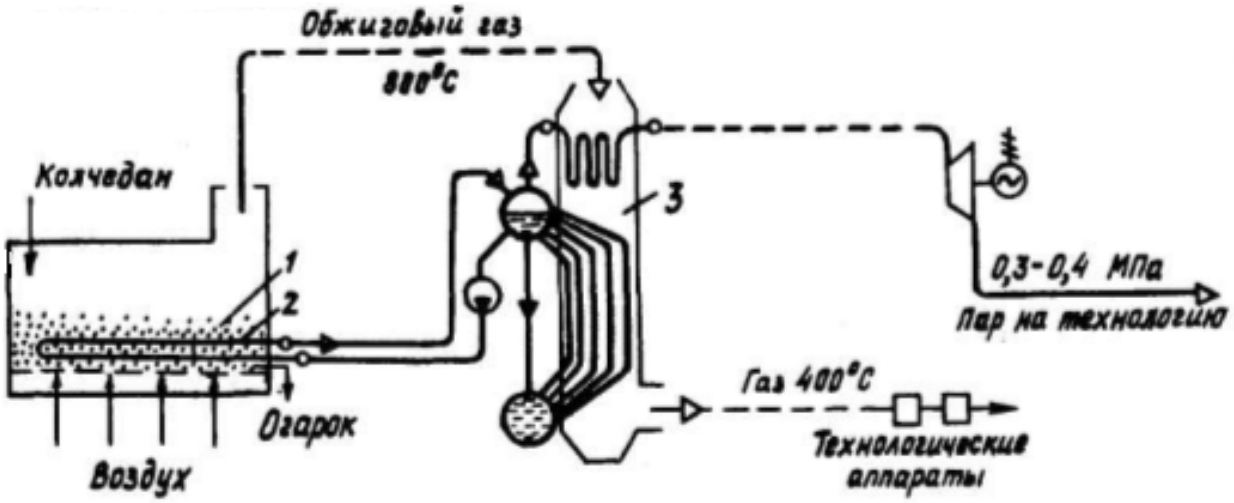


Рис. 7

Кроме указанной, в проекте должна быть приведена тепловая схема котла (по результатам теплового расчета), схема испарения, схема циркуляции, схема газовоздушного тракта (рис. 8, где $H_{впр}$, $H_{вп}$, $H_{ш}$, $H_{тр}^{с}$ - высоты, принимаемые при определении самотяги).

На рисунках следует схематично изображать поверхности нагрева для пояснения порядка теплового расчета отдельных элементов котла (см. рис. 1, а, 2, а, 3, а, 4, а).

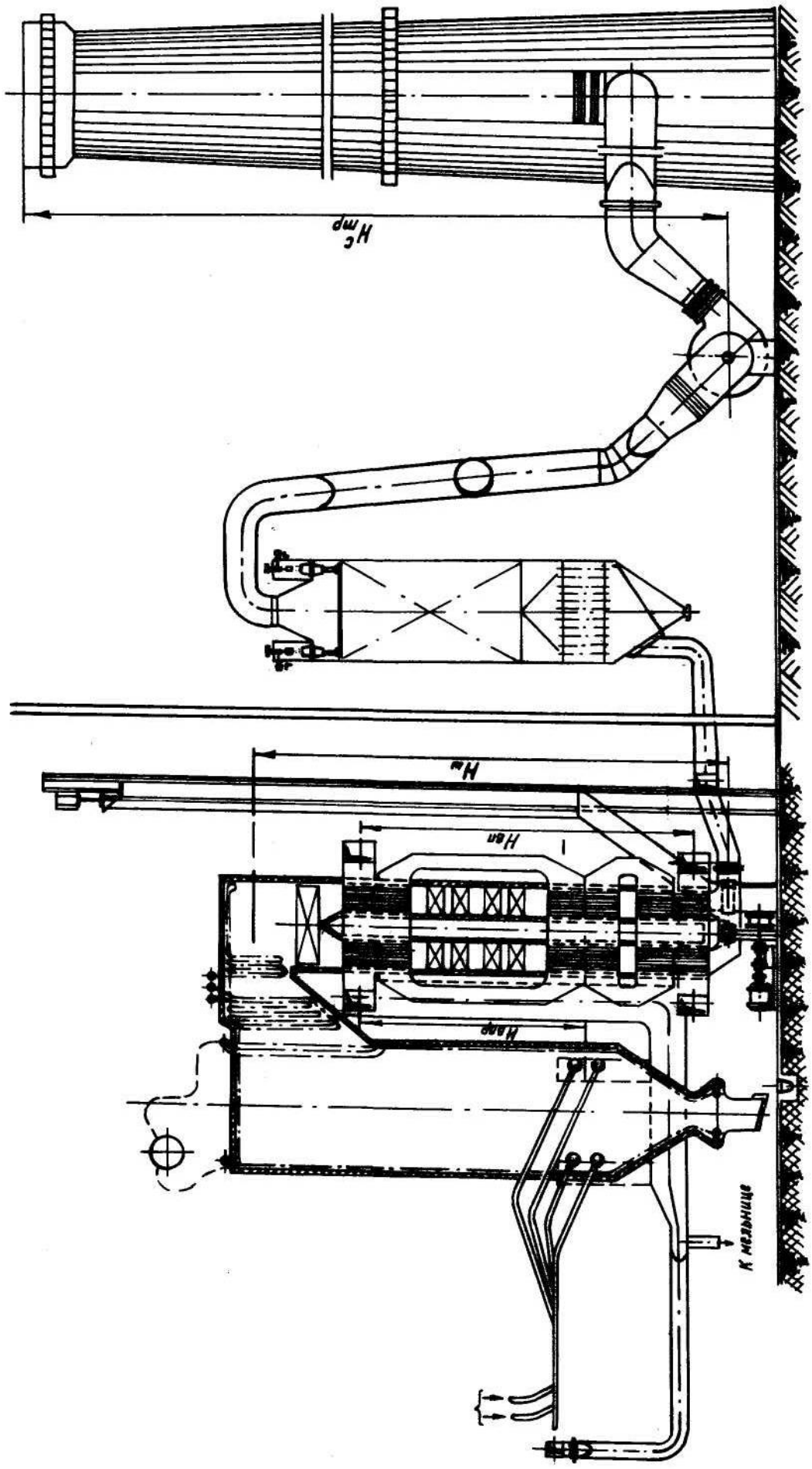


Рис. 8

Графики приводятся в случае использования графического метода расчета отдельных параметров.

Чертежи к проекту выполняются на двух листах формата 24. На одном листе должны быть представлены необходимые разрезы, на другом - тепловая схема котла и отдельные узлы, изображенные в более крупном масштабе: конструкции обмуровки, узлы крепления ее к каркасу, узлы крепления экранных труб, пароперегревателя и элементов конвективных поверхностей к каркасу, температурные компенсаторы воздухоподогревателя, конструкция уплотнений в местах вывода экранных труб и трубопроводов к коллекторам и т.п.

Количество разрезов и отдельных узлов определяет руководитель проекта при выдаче задания в зависимости от сложности конструкции и объема реконструкции проектируемого котла.

Следует обратить серьезное внимание на внешний вид графической части. Небрежное оформление ее свидетельствует о недостаточной технической культуре исполнителя, о незнании элементарных правил выполнения проектных работ.

Перед выполнением графической части проекта следует изучить единую систему технической документации (ЕСКД), устанавливающую формы, размеры, порядок заполнения основной надписи и дополнительных граф к ней на чертежах и схемах всех видов студенческих работ, курсовых и дипломных проектов [5, 6] (см. приложение 4).

4. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тепловой расчет котельных агрегатов: Нормативный метод. - М.: Энергия, 1973. - 295 с.
2. Липов Ю.М., Самойлов Ю.Ф., Модель З.Г. Компоновка и тепловой расчет парогенератора. - М.: Энергия, 1975. - 176 с.
3. Аэродинамический расчет котельных установок: Нормативный метод. - Л.: Энергия, 1977. - 265 с.
4. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Парогенераторы промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1978. - 336 с.
5. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 239 с.
6. ЕСКД. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1983. - 352 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Соотношение единиц измерений

Величина	МКГСС	СИ
1	2	3
Масса	1 кгс·с^2/м	9,81 кг
Сила	1 кгс	9,81 Н
Плотность	1 кгс·с^2/м^4	9,81 кг/м^3
Удельный вес	1 кгс/м^3	9,81 Н/м^3
Давление	1 атм (тех)=1 1 кгс/см^2=10^4 1 кгс/см^2= =735,6 мм рт. ст.	98,1 кПа
	1 атм (физ)=1,033 кгс/см^2=760 мм рт. ст.	1,01·10^5 Па
	1 мм рт. ст.	133,322 Па
	1 кгс/м^2	9,81 Па
	1 бар	100 кПа
Удельная энтальпия	1 ккал/кг	4,187 кДж/кг
Удельная энтропия	1 ккал/(кг·К)	4,187 кДж/(кг·К)
Удельная теплоемкость	1 ккал/(кг·^{o}С)	
Коэффициенты тепло-отдачи, теплопередачи	1 ккал/(ч·м^2·^{o}С)	1,163 Вт/(м^2·К)
Коэффициент тепло-проводности	1 ккал/(ч·м·^{o}С)	1,163 Вт/(м·К)
Работа, энергия	1 кгс·м	9,81 Дж
Количество теплоты	1 ккал	4,187 кДж
Мощность	1 кгс·м/с	9,81 Вт
Тепловой поток	1 ккал/ч	1,163 Вт

Приложение 2

График выполнения курсового проекта

№ п/п	Перечень работ	Неделя												Всего часов
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Анализ задания, изучение конструкции котла - прототипа, выбор предварительного варианта реконструкции	4												4
2	Выбор способа сжигания заданного топлива и конструкции топочного устройства, составление расчетной схемы компоновки котла, материальный баланс процесса горения		2	2										4
3	Расчет H - ϑ - таблицы, тепловой баланс котла				4									4
4	Тепловой расчет топочной камеры					4								4
5	Разрезы котла (1 лист)		2	2	2									6
6	Расчет фастона, расчет котельного пучка						2	2						4
7	Расчет пароперегревателя								2					2
8	Расчет воздухоподогревателя									2				2
9	Расчет экономайзера										2			2
10	Проверка расчета											2		2
11	Лист 2 графических работ (отдельные узлы и тепловая схема)										2	2		4
12	Аэродинамический расчет котельной установки, выбор тягодутьевых машин (вместо пп. 7…10)						2	2	2	2	2	2		12
13	Оформление пояснительной записки												4	4
14	Всего часов в неделю	4	4	4	6	4	2	2	2	2	4	4	4	42

Приложение 3

Образец титульного листа пояснительной записки

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра теплотехники и теплоэнергетики

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы»

Тема _____

_____

_____

Студент _____

Руководитель проекта _____

Курсовой проект защищен с оценкой _____ (_____)

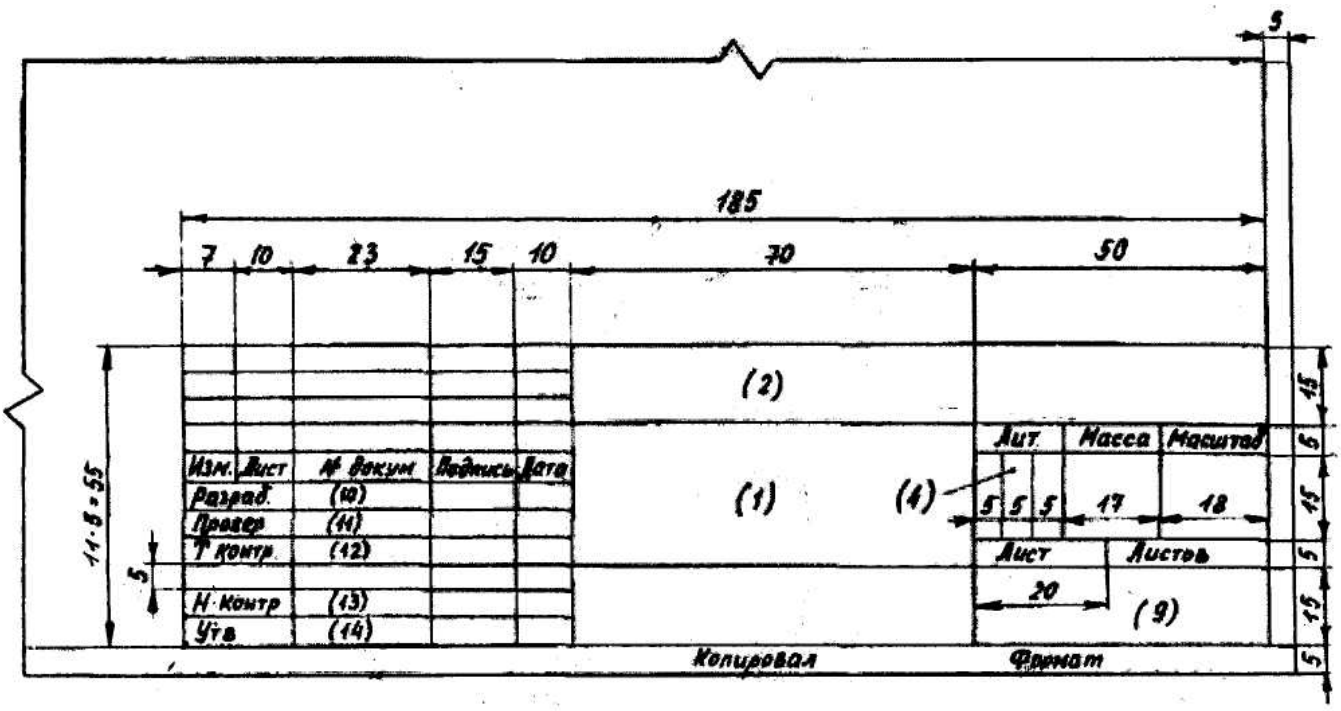
Члены комиссии _____

_____

Санкт-Петербург
2004

Приложение 4

Заполнение штампа



В графах, номера которых на рисунке указаны в скобках, следует приводить надписи:
в графе (1) - наименование установки, схемы и т.д., например:

КОТЕЛ ПАРОВОЙ ТИПА ТП-80 ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ

в графе (2) - обозначение документа в соответствии с ГОСТ 2.201 - 80, например:

КП.100700.01 – 0312.А Б В Г,

где КП - курсовой проект, 100700 - номер специальности студента, 01 - 0312 - шифр студента, А Б В Г - шифр изделия, где А - цифра шифра установки, Б - цифра шифра основной составляющей части установки, В - цифра шифра функциональной группы, Г - цифра шифра более мелких элементов.

Если расчет каких - либо элементов не является целью проекта, то в шифре изделия АБВГ в соответствующих позициях (Б, В или Г) следует проставлять нули. Например, обозначение документа

КП.100700.01 - 0312.2110

расшифровывается: курсовой проект, специальность 100700, шифр студента 01 - 0312, паровой котел котельного цеха ТЭЦ.

Если в графической части приведена схема, то цифровые обозначения шифра изделия А дополняются буквенным обозначением вида схемы и цифровым обозначением типа схемы согласно ГОСТ 2.701 - 84.** Например, обозначение документа

КП.100700.01 - 0312.2100С1

расшифровывается: курсовой проект, специальность 100700, шифр студента 01 - 0312, структурная комбинированная схема котельного цеха ТЭЦ;
- в графе (4) - литера данного документа, в нашем случае - У (учебный);
- в графе (9) - наименование учебного заведения: СЗТУ;
- в графах (10), (11), (12), (13), (14) - фамилия и инициалы соответственно студента, руководителя проекта, члена комиссии (рецензента), нормоконтроль (руководителя проекта), зав. кафедрой.

* Расшифровка позиции А:

1 - КЭС
2 - ТЭЦ
3 - котельная
4 - цех (участок) завода (комбината)
5 - АЭС

Расшифровка позиции Б:

1 - котельный цех
2 - турбинный цех
3 - вспомогательное оборудование
4 - химводоподготовка
5 - топливоподготовка
6 - пиковая котельная
7 - энерготехнологическая установка

Расшифровка позиции В:

1 - паровой котел
2 - водогрейный котел
3 - утилизационный парогенератор
4 - парогенератор АЭС
5 - турбина
6 - промышленная печь
7 - тепломассообменная установка

Расшифровка позиции Г:

1 - топка
2 - пароперегреватель
3 - экономайзер
4 - воздухоподогреватель
5 - контактный аппарат теплообменник
6 - теплообменный аппарат

** Виды схем обозначаются буквами:

электрические - Э
гидравлические - Г
пневматические - П
газовые (кроме пневматических) - Х
энергетические - Р
деления - Е
комбинированные - С

Типы схем обозначаются цифрами:

структурные - 1
функциональные - 2
принципиальные (полные) - 3
соединений (монтажные) - 4
подключения - 5
общие - 6
расположения - 7
объединенные – 0

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Тематика курсовых проектов 4
2. Расчетная часть 5
2.1. Требования к пояснительной записке 5
2.2. Методика теплового расчета 8
2.3. Методика выполнения аэродинамического расчета реконструированной котельной установки 22
3. Графическая часть 26
4. Библиографический список 29
Приложения 30

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2004 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.1997г.

Санитарно – эпидемиологическое заключение № 78.01.07.953.П.005641.11.03 от 2003 г.

Подписано в печать Формат 60x84 1/16

Б.кн.-журн. П.л. Б.л РТП РИО СЗТУ

Тираж Заказ

Северо-Западный государственный заочный технический университет

РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов России

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5