

Департамент образования администрации Владимирской области
Областное государственное учреждение среднего
профессионального образования
«Вязниковский механико-технологический техникум»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСОВОМУ
ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ»

/для студентов специальности 140102
«Теплоснабжение и теплотехническое оборудование»/

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании
цикловой комиссии общепрофессиональных и теплотехнических
дисциплин

Протокол № _____
от «___» _____ 200 г.

Председатель комиссии
общепрофессиональных и
теплотехнических дисциплин _____ Соколов В.С.

Методические указания составил преподаватель ОГОУ СПО
«Вязниковский механико-технологический техникум» Серов С.В.

Рецензент:

Зам. главного энергетика ОАО «ОСВАР» Столяров С.А.

Преподаватель теплотехнических
специальных дисциплин ОГОУ СПО

«Вязниковский механико-
технологический техникум» Л.В. Хорохонова

Введение

Курс «Котельные установки» является ключевым в подготовке специалистов-техников для обслуживания промышленной теплоэнергетики, так формирует у студентов знания в области наиболее сложных теплообменных аппаратов, где представлено большинство процессов теплообмена, а также закрепляет знания полученные студентами в курсах: «Теоретические основы теплотехники», «насосы», «экология», «гидравлика», «материаловедение».

Знания, полученные при изучении курса, закрепляются в курсовом проекте. В процессе выполнения курсового проекта студенты должны приобрести практические навыки в расчете парового или водогрейного котла, более глубоко усвоить теоретические положения и ознакомиться с действующими нормативными материалами, а также подготавливаются к выполнению дипломного проекта.

При выполнении курсового проекта студенты должны произвести тепловой, аэродинамический и, по возможности, прочностной расчеты.

Существуют два вида теплового расчета: конструктивный и поверочный.

Первый используется для проектирования новой конструкции котлоагрегата и чаще всего предлагается будущим инженерам-проектировщикам.

Второй вид расчета_ поверочный -чаще предлагается техникам-эксплуатационникам.

Руководитель проекта может задать любой вид расчета, но в настоящих методических указаниях рекомендуется поверочный расчет с элементами конструктивного расчета отдельных поверхностей нагрева.

При выполнении курсового проекта можно применять вычислительную технику, особенно при расчете $I - \theta$ диаграммы продуктов сгорания.

Задача курсового проектирования . Объем проекта.

При курсовом проектировании закрепляются знания теоретических курсов и приобретаются навыки пользования расчетными нормативными и проектными материалами. Студенты осваивают тепловой, аэродинамический расчеты, детально изучают конструкцию заданного типа парового котла и условия его эксплуатации.

На основе теплового расчета студенты проводят принципиальную проработку поверхностей нагрева котлоагрегата. Она заключается в определении необходимых размеров радиационной тепловоспринимающей поверхности топочной камеры, конвективных поверхностей нагрева, обеспечивающих заданную производительность, а также максимальную эффективность. Полученную в ходе теплового расчета поверхность нагрева нужно разместить в котлоагрегате с указанием числа труб в ряду, числа рядов, шага труб, обеспечением расчетной скорости газов. Устанавливаются габаритные размеры основных частей парового котла – топки, конвективных поверхностей нагрева:

пароперегревателя, экономайзера, воздухоподогревателя. Определяются воздушно-газовые сопротивления всех частей котла с указанием общего сопротивления и выбора тягодутьевых устройств.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки, включающей описание котла, поверочный тепловой расчет, определение воздушно-газовых сопротивлений и двух листов чертежей

Методические указания к расчету парового котла

Каждому студенту выдается индивидуальное задание, которое включает:

- Тип котла;
- Номинальная производительность;
- Давление пара;
- Температура перегретого пара;
- Месторождение и марка топлива;
- Температура питательной воды;
- Величина непрерывной продувки;
- Хвостовые поверхности нагрева.

Кроме указанных, могут быть заданы и другие параметры, необходимые для расчета (температура горячего и холодного воздуха, способы его подогрева, температура воды на выходе из экономайзера и т.д.)

Тепловой расчет котлоагрегата выполняется студентами в международной системе единиц (СИ).

По ходу расчета необходимо давать краткие обоснования и соответствующие пояснения.

Разделы работы обязательно отделяются четко оформленными заголовками.

Иллюстрации (на миллиметровке) должны содержать I – θ диаграмму продуктов сгорания и другие необходимые для выполнения задания схемы и диаграммы.

Графическая часть курсового проекта состоит из двух листов формата 594x841.

Пояснительная записка и графическая часть должны удовлетворять требованиям ЕСКД ГОСТ 2.105-79 и ГОСТ 2.106-68.

Спецификация вшивается в пояснительную записку. В нее вносятся составные части, относящиеся к специфицируемому изделию. Спецификация выполняется и оформляется на отдельных листах формата А 4 по форме согласно ЕСКД. Исходными геометрическими параметрами для выполнения чертежей парового котла и его отдельных поверхностей нагрева являются величины, полученные при тепловом расчете и из литературы.

Чертежи должны содержать основные габаритные и характерные размеры. На отдельных поверхностях нагрева должны быть обозначены габариты, шаги труб, число и диаметр параллельно включенных труб и т.д.

На чертежах проекций должны быть изображены лазы, предохранительные клапаны и другая арматура, входные и выходные коллекторы пучков, сепарационные и продувочные устройства.

Студент должен детально разобраться в конструкции узлов и дать объяснения по их выполнению, условиям работы, сборке и разборке, а также назначению и месту в конструкции котлоагрегата.

Таблица 3.1. Расчетные значения присосов воздуха в топку и в газоходы паровых и водогрейных котлов при номинальной нагрузке

| Топочные камеры и газоходы | Присос воздуха |
|--|----------------|
| Топочные камеры пылеугольных котлов с твердым шлакоудалением и металлической обшивкой труб экрана | 0,05 |
| То же с обмуровкой и обшивкой | 0,07 |
| » без металлической обшивки | 0,1 |
| Топочные камеры слоевых механических и полумеханических топок | 0,1 |
| Фестон, ширмовый пароперегреватель, первый котельный пучок котлов производительностью $D > 50$ т/ч | 0 |
| Первый котельный пучок конвективной поверхности нагрева котлов производительностью $D \leq 50$ т/ч | 0,05 |
| Второй котельный пучок конвективной поверхности нагрева котлов производительностью $D \leq 50$ т/ч | 0,1 |
| Пароперегреватель | 0,03 |
| Водяной экономайзер котлов производительностью $D > 50$ т/ч (на каждую ступень) | 0,02 |
| Водяной экономайзер котлов производительностью $D \leq 50$ т/ч: | |
| стальной | 0,08 |
| чугунный с обшивкой | 0,1 |
| чугунный без обшивки | 0,2 |
| Воздухоподогреватели трубчатые, на каждую ступень: | |
| для котлов с $D > 50$ т/ч | 0,03 |
| для котлов с $D \leq 50$ т/ч | 0,06 |
| Золоуловители циклонные и батарейные | 0,05 |
| Газоходы стальные (на каждые 10 м длины) | 0,01 |
| » кирпичные (на каждые 10 м длины) | 0,05 |

Таблица 4.4. Расчетные характеристики камерных топок при сжигании газа, мазута и пылевидного топлива с твердым шлакоудалением

| Топливо | Удельная нагрузка топочного объема, кВт/м ³ , для котлов производительносью (т/ч) | | | | Потери от неполноты горения, % | | | | Доля зольного топлива в уносе, % |
|---|--|-----|-----|--------|--------------------------------|-------|-----|--------|----------------------------------|
| | производительносью (т/ч) | | | | химической | | | | |
| | 25 | 35 | 50 | 75—400 | 25 | 35 | 50 | 75—400 | |
| Антрацитовый штыб и полуантрациты Тощие угли | — | — | — | 140 | — | — | — | 6—4 | 0 |
| | — | — | — | 160 | — | — | — | 2 | |
| Каменные угли Бурые угли Фрезерный торф | 255 | 210 | 185 | 175 | 5 | 3 | 2—3 | 1—1,5 | 95 |
| | 290 | 245 | 210 | 185 | 3 | 1,5—2 | 1—2 | 0,5—1 | |
| | 255 | 210 | 185 | 160 | | | | | |
| Мазут Природный газ | — | 405 | — | 350 | 0 | | | | — |
| | — | 465 | — | 350 | 0,5 | | | | |

* Меньшие потери теплоты от механической неполноты горения принимаются при сжигании полуантрацитов и топлив с $A^p < 1,4$.

** Большие потери теплоты от химической неполноты горения принимаются для котлов с $D < 75$ т/ч.

Кроме того, необходимо проанализировать условия эксплуатации отдельных узлов и причины выхода их из строя.

Курсовая работа содержит следующие разделы:

Введение.

1. Цель проекта.
2. Описание котла.
3. Характеристика котла.
4. Технологическая часть.
 - 4.1 Исходные характеристики топлива.
 - 4.2 Определение объемов воздуха, продуктов сгорания и энтальпии продуктов сгорания
 - 4.3 Тепловой баланс парогенератора или водогрейного котла
 - 4.4 Расчет теплообмена в топке.
 - 4.5 Расчет пароперегревателя
 - 4.6 Расчет конвективных пучков
 - 4.7 Расчет и выбор водяного экономайзера.
 - 4.8 Расчет воздухоподогревателя.
5. Аэродинамический расчет котлоагрегата.
6. Вывод
7. Графическая часть.

Лист 1: Продольный или поперечный разрез котлоагрегата совместно с хвостовыми поверхностями нагрева.

Лист 2: План котельного агрегата с хвостовыми поверхностями нагрева.

Методика расчета

4. Технологическая часть

4.1 Исходные данные для расчета продуктов сгорания топлива

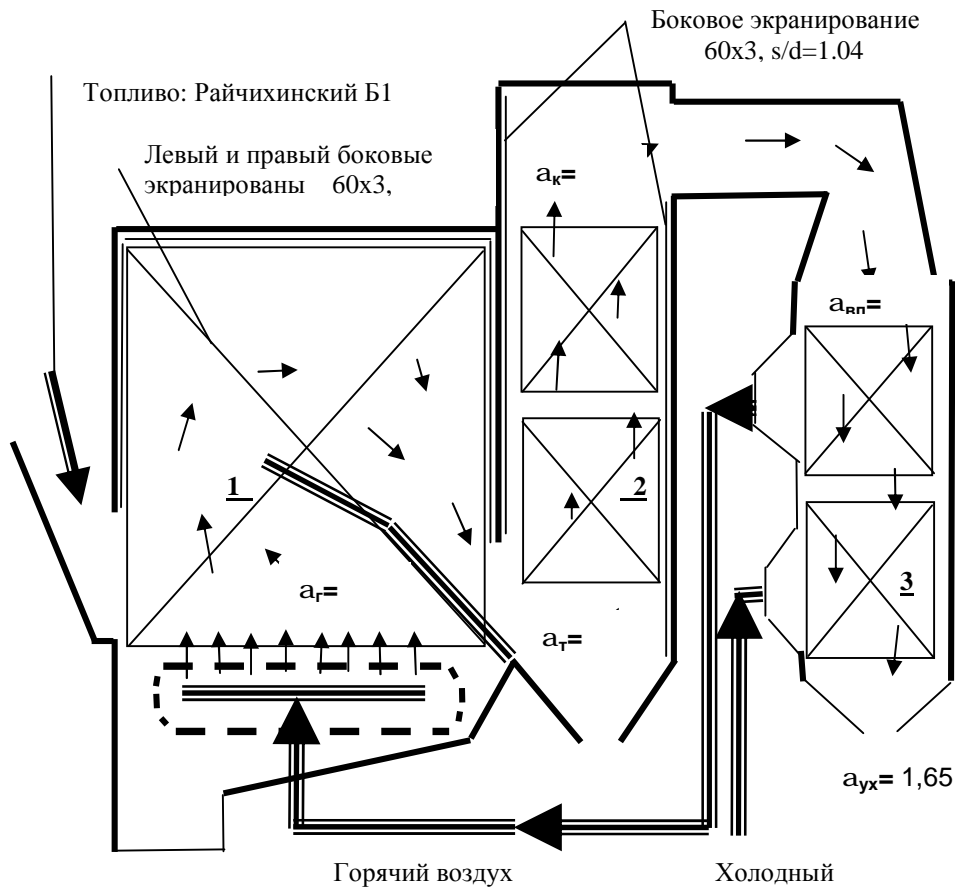
4.1.1 Расчетные характеристики топлива приведены в таблице 2.1, 2.2 Л-1. Из таблиц необходимо выписать состав топлива и, если необходимо, произвести перерасчет на рабочую массу топлива с учетом заданной зольности A^c и влажности W^p (табл. 2.6 Л-1).

4.1.2 Коэффициент избытка воздуха α_m принимается в зависимости от вида топлива и способа его сгорания по табл. 3.2 Л-1.

4.1.3 Расчетная схема газоздушного тракта котла строится с целью определения направления потоков воздуха и продуктов сгорания, определения взаиморасположения и последовательности омывания газами поверхностей нагрева, а также с целью представления основной информации для последующих расчетов топочной камеры, конвективной части котла и хвостовых поверхностей нагрева.

На схеме условно показываются: подвод к котлу топлива и его марка (месторождение); подвод воздуха к котлу; линии тока продуктов сгорания в топочной камере, камере догорания, конвективных пучках и хвостовых поверхностях нагрева; значение коэффициента избытка воздуха за горелкой (α_r), на выходе из топки (α_T), за котлом (α_K), на входе и выходе экономайзера или воздухоподогревателя (α_{ζ} , α^2 , или $\alpha_{\zeta_{вп}}$, $\alpha^2_{вп}$); тип применяемых горелок или топочного устройства.

Пример схемы приведен на рисунке.



Расчетная схема газо-воздушного тракта

- где 1 – экран топки: трубы 60x3, s/d = 1.0;
- 2 - конвективные пакеты из труб 28x3; S₁ = 50 ; S₂ = 45;
- 3 – воздухоподогреватель или водяной экономайзер (чугунный, стальной)

4.1.4 Используя схему котла, выписать необходимые поверхности нагрева, именуемые в дальнейшем газоход, и по каждому из них определить долю присосов воздуха Δα;

Δα определяется по табл. 3.1 Л-1. Коэффициент избытка воздуха за газоходами определяется нарастающим итогом путем суммирования избытка воздуха за предшествующим газоходом с присосом очередного по ходу газов по формуле:

$$\alpha_{г''} = \alpha_{г'} + \Delta \alpha_m,$$

где г – газоход (поверхность нагрева)

Таблица 4.5. Потеря теплоты от наружного охлаждения парового котла

| Номинальная производительность котла, кг/с (т/ч) | Потеря теплоты, % | |
|--|-------------------|----------------------------------|
| | Собственно котел | Котел с хвостовыми поверхностями |
| 0,55 (2) | 3,4 | 3,8 |
| 1,11 (4) | 3,1 | 2,9 |
| 1,67 (6) | 1,6 | 2,4 |
| 2,22 (8) | 1,2 | 2,0 |
| 2,78 (10) | — | 1,7 |
| 4,16 (15) | — | 1,5 |
| 5,55 (20) | — | 1,3 |
| 8,33 (30) | — | 1,2 |
| 11,11 (40) | — | 1,0 |
| 16,66 (60) | — | 0,9 |
| 22,22 (80) | — | 0,8 |
| 27,77 (100) | — | 0,7 |
| 55,55 (200) | — | 0,6 |
| 83,33 (300) | — | 0,5 |

Таблица 4.6. Потеря теплоты от наружного охлаждения водогрейного котла (ориентировочно)

| Номинальная мощность котла, МВт | Потеря, % | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 100 |
| Потеря, % | 5 | 3 | 2 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,5 |

Для парогенераторов низкого давления с хвостовыми поверхностями нагрева температуру входящих газов рекомендуется принимать не менее следующих значений (°C):

| | |
|---|---------|
| Угли с приведенной влажностью 0,7 кг·10 ² /МДж и природный газ | 120—130 |
| Угли с приведенной влажностью 1—5 кг·10 ² /МДж | 140—150 |
| Мазут | 150—160 |
| Торф и древесные отходы при установке воздухоподогревателя | 170—190 |

Таблица 3.2. Расчетные значения коэффициента избытка воздуха на выходе из топki α_T

| Тип топki | Топливо | Значение α _T |
|---|---|-------------------------|
| С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной колосниковой решеткой | Донецкий антрацит АС и АМ (A ⁿ =0,5) | 1,6—1,7 |
| | Каменные угли типа кузнецких Г и Д (A ⁿ =0,3), донецких Г и Д (A ⁿ =0,8), кузнецких ИСС (A ⁿ =0,4) | 1,4—1,5 |
| | Бурые угли типа ирша-бординского (W ⁿ =2,1; A ⁿ =0,4), артемовского (W ⁿ =1,8), веселовского (W ⁿ =2,0; A ⁿ =1,5), подмосковного (W ⁿ =3,0; A ⁿ =2,1), харанорского (W ⁿ =3,2; A ⁿ =0,7) | 1,4—1,5 |
| С цепной решеткой прямого хода | Донецкий антрацит АС и АМ (A ⁿ =0,5) | 1,5—1,6 |
| С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода | Все топлива, указанные для топок с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой | 1,3—1,4 |
| Камерная (при пылевидном сжигании с твердым шлакоудалением) | Антрацитовый штыб, полуантрациты, тощие угли | 1,2—1,25 |
| | Каменные, бурые угли и фрезерный торф | 1,2 |
| | Мазут и природный газ | 1,1 |
| Скоростного горения | Рубленая щепка (W ^p =50%) | 1,2 |
| | Дробленые отходы и опилки (W ^p =50%) | 1,3 |

Примечание. Меньшие значения α_T для паровых котлов производительностью D > 10 т/ч.

’, ” - на входе в газоход и на выходе из газохода соответственно

Например, α_m'' = α_m' + Δ α_m, где m – топка и т.д. по ходу движения дымовых газов.

4.1.5 Средний коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha_{r\text{cp}} = \frac{(\alpha_{r'} + \alpha_{r''})}{2}$$

Например,

$$\alpha_{m\text{cp}} = \frac{(\alpha_{m'} + \alpha_{m''})}{2}$$

где α_m' - избыток воздуха перед газоходом, равный избытку воздуха за предыдущим газоходом.

α_m'' = α_m' и т.д. (nn - пароперегреватель).

4.2 Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания топлива.

| Показатель | Твердое и жидкое топливо (м ³ /кг) | Газообразное топливо (м ³ /м ³) |
|--|--|---|
| Теоретический объем воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг или 1 м ³ топлива | V _B ^o = 0,0889·(C ^p + 0,375S ^p _л) + 0,265·H _p - 0,0333·O ^p | V _B ^o = 0,0478[0,5 CO + 0,5 H ₂ + 1,5 H ₂ S + Σ(m + $\frac{n}{4}$)C _m H _n - O ₂] |
| Теоретический объем сухих трехатомных газов в продуктах сгорания топлива | V _{RO2} = 0,0187(C ^p + 0,375·S ^p _л) | V _{RO2} = 0,01(CO ₂ + CO + H ₂ S + Σ mC _m H _n) |
| Теоретический объем азота | V _{N2} ^o = 0,79·V _B ^o + 0,8 N ^p /100 | V _{N2} ^o = 0,79·V _B ^o + 0,01 N ₂ |
| Теоретический объем водяных паров | V _{H2O} ^o = 0,111 H ^p + 0,0124·W ^p + 0,0161·V _B ^o | V _{H2O} ^o = 0,01 (H ₂ S + H ₂ + Σ $\frac{n}{2}$ C _m H _n + 0,124d г.мл) + 0,0161·V _B ^o |

При расчетах в формулы вводятся содержания компонентов топлива в объемных процентах. Величины m и n равны соответственно числам атомов углерода и водорода в химической формуле углеводородов, входящих в состав данного топлива.

d г.мл – влагосодержание газообразного топлива 1 м³ сухого газа, принимается 10 г/м³. Дальнейший расчет объемов продуктов сгорания с учетом избытка воздуха (α>1) производится по одним и тем же формулам для всех видов топлива.

Действительный объем водяных паров м³/кг (м³/м³):

$$V_{H2O} = V_{H2O}^o + 0,0161(\alpha_{cp} - 1) \cdot V_B^o$$

Определяем суммарный объем продуктов сгорания м³/кг (м³/м³):

$$V_{\partial,2} = V_{RO2} + V_{N2} + V_{H2O} + (\alpha_{cp} - 1) \cdot V_B^o + 0,0161(\alpha_{cp} - 1) \cdot V_B^o$$

Парциальное давление трехатомных газов и водяных паров:

$$P_{RO2} = \frac{V_{RO2}}{V_{\partial,2}} \cdot P$$

$$P_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\partial,2}} \cdot P$$

Так как практически $P = 1$ атм., то парциальные давления численно равны их объемным долям

$$P_{RO_2} = r_{RO_2}$$

$$P_{H_2O} = r_{H_2O}$$

Общая объемная доля трехатомных газов и водяных паров

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$$

Результаты расчета объемов продуктов сгорания и парциальных давлений сводим в таблицу 1:

Объемы продуктов сгорания, объемные доли трехатомных газов, концентрация золы.

| Наименование величины и расчетная формула | Размерность | V^0_B | V_{RO_2} | $V^0_{N_2}$ | $V^0_{H_2}$ |
|--|-------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------|
| | | Поверхности нагрева | | | |
| Коэффициент избытка воздуха за газоходом α_{Γ} | - | | | | |
| Величина присосов $\Delta \alpha$ | - | | | | |
| Средний коэффициент избытка воздуха в газоходах α_{cp} | - | | | | |
| Действительный объем водяных паров $V_{H_2O} = V^0_{H_2O} + 0,0161(\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0_B$ | $M^3/кг$ (M^3/M^3) | | | | |
| Суммарный объем продуктов сгорания $V_{\partial,2} = V_{RO_2} + V^0_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0_B + 0,0161(\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0$ | $M^3/кг$ (M^3/M^3) | | | | |
| Парциальное давление трехатомных газов $P_{RO_2} = r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_{\partial,2}$ | - | | | | |
| Парциальное давление водяных паров $P_{H_2O} = r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\partial,2}}$ | - | | | | |
| Общая объемная доля водяных паров и трехатомных газов $r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$ | | | | | |
| Концентрация золы $\mu = 10 \cdot \frac{A^p \cdot a_{yn}}{V_{\partial,2}}$ | $г/м^3$ | | | | |

Примечание: a_{yn} - доля золы топлива, уносимая газами, для камерных топок при сжигании твердого топлива $a_{yn} = 0,95$, для слоевых топок по табл. 4.1-4.4 ЛЛ-1

Энтальпия воздуха и продуктов сгорания.

Энтальпия сгорания определяется на 1 кг твердого или жидкого топлива или на 1 м³ сухого газообразного топлива по формуле:

$$I_{\partial,2} = I^0_{\partial,2} + (\alpha_{cp} - 1) I^0_e + I_{3n}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}$$

где $I^0_{\partial,2}$ - энтальпия теоретического объема продуктов сгорания для всего выбранного диапазона температур (100-2200°С)

$$I^0_{\partial,2} = V_{RO_2}(c\theta)_{RO_2} + V^0_{N_2}(c\theta)_{N_2} + V^0_{H_2O}(c\theta)_{H_2O}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}$$

Таблица 4.2. Расчетные характеристики слоевых топок с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода

| Топливо | Удельная нагрузка | | Потери теплоты от неполноты сгорания, % | | Доля золы в уносе, % | Воздух, подаваемый под решетку | |
|---|--|--------------------------------------|---|-----------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| | зеркала горения, кВт/м ² | топочного объема, кВт/м ³ | химической | механической * | | Давление $P_{в.}$, Па | Температура $t_{в.}$, °С |
| Каменные угли: типа кузнецких Г и Д ($A^п = 0,3$) типа донецких Г и Д ($A^п = 0,8$) типа сучанского ($A^п = 1,4$) типа кузнецкого ЛСС ($A^п = 0,4$) | 1400—1740 1400—1620 1400—1740 1160—1400 | 290—460 | 0,5—1,0 | 5,5/3 6/3,5 7,5/5,5 11/5 | 20/9 17/7,5 11/5 20/8 | 500 | 25 или |
| | | | | | | | 150—200 |
| | | | | | | | 150—200 |
| | | | | | | | |
| Бурые угли: типа ирша-бординского ($W^п = 2,1; A^п = 0,4$) типа артемовского ($W^п = 1,8; A^п = 1,0$) типа веселовского ($W^п = 2,0; A^п = 1,5$) типа харанорского ($W^п = 3,2; A^п = 0,7$) типа подмосковского ($W^п = 3,0; A^п = 2,1$) | 1400—1740 | 290—460 | 0,5—1,0 | 6/3 5,5/4 7,5/5,5 7/4 | 27/12 19/8,5 15/7 19/8,5 11/5 | 500 | 150—200 |
| | | | | | | | 150—200 |
| | | | | | | | 150—200 |
| | | | | | | | |

* Числитель — для топок, не оборудованных средствами уменьшения уноса, знаменатель — для топок с острым дутьем и возвратом уноса.
Примечание. Меньшие значения параметров для паровых котлов. Производительностью $D > 10$ т/ч.

Таблица 4.2. Расчетные характеристики слоевых топок с пневмомеханическими забрасывателями и ценной решеткой обратного хода

| Топливо | Удельная нагрузка | | Потери теплоты от непопавшего сгорания, % | | Доля золы в уносе, % | Воздух, подаваемый под решетку | |
|---|-------------------------------------|--------------------------------------|---|----------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | зеркала горения, кВт/м ² | топочного объема, кВт/м ³ | химической | механической * | | Давление P _в , Па | Температура t _в , °С |
| Каменные угли: типа кузнецких Г и Д (A ^п = 0,3) типа донецких Г и Д (A ^п = 0,8) типа сучанского (A ^п = 1,4) типа кузнецкого ИСС (A ^п = 0,4) | 1400—1740 | | 5,5/3 | | 20/9 | | 25 или |
| | 1400—1620 | | 6/3,5 | | 17/7,5 | | 150—200 |
| Бурые угли: типа ирша-бородинского (W ^п = 2,1; A ^п = 0,4) типа артемовского (W ^п = 1,8; A ^п = 1,0) типа веселовского (W ^п = 2,0; A ^п = 1,5) типа харанорского (W ^п = 3,2; A ^п = 0,7) типа подмосковного (W ^п = 3,0; A ^п = 2,1) | 1400—1740 | 290—460 | 0,5—1,0 | 6/3 | 27/12 | 500 | 150—200 |
| | 1160—1400 | | | 5,5/4 | 19/8,5 | | |
| | | | | 7,5/5,5 | 15/7 | | |
| | | | | 7/4 | 19/8,5 | | |
| | | | | 7,5/5 | 11/5 | | |

* Числитель — для топок, не оборудованных средствами уменьшения уноса, знаменатель — для топок с острым дутьем и возвратом уноса.

Примечание. Меньшие значения параметров для паровых котлов. Производительностью D > 10 т/ч.

где (сθ)_{RO2}, (сθ)_{N2}, (сθ)_{H2O} - средние удельные энтальпии газов, входящих в состав продуктов сгорания, кДж/м³ табл.3.4 (Л-1)

I_г⁰ - энтальпия теоретического объема воздуха для всего выбранного диапазона температур (100-2200⁰С)

$$I_{г}^0 = V_{г}^0 (сθ)_{г}$$

(сθ)_г - энтальпия 1м³ воздуха, кДж/м³, принимается для каждой выбранной температуры по табл. 3.4 (Л-1)

I_{изб}^г - энтальпия избыточного количества воздуха для всего выбранного диапазона температур (100-2000⁰С)

$$I_{изб}^g = (\alpha_{ср} - 1) I_{г}^0, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}$$

Если приведенная величина уноса золы из топки

$$100 \cdot \frac{a_{зп} \cdot A^p}{Q_{н}} > 6,$$

то к энтальпии дымовых газов следует добавить энтальпию золы:

$$I_{зп} = 0,01 \cdot a_{зп} \cdot A^p (сθ)_{зп}, \text{ где}$$

(сθ)_{зп} - энтальпия 1 кг золы, кДж/кг, определяется по табл. 3.4 (Л-1)

Результаты расчета энтальпии продуктов сгорания по газоходам котлоагрегата сводят в таблицу 2.

Данные таблицы 2 позволят в последующих расчетах по температуре продуктов сгорания определить энтальпию

$$I_x = \frac{I_{г} - I_{м}}{100} (t_{изб} - t_{м}) + I_{м}, \text{ (I)}$$

или, наоборот, по энтальпии продуктов сгорания - их температуру

$$t_x = t_{м} + \frac{I_{изб} - I_{м}}{I_{г} - I_{м}} \cdot 100 \text{ (II)}$$

При этом производится линейная интерполяция в интервале температуры 100 К. I_г и I_м - энтальпии, соответствующие большей и меньшей температурам искомого интервала температур, приведенным в табл. 3.5 (Л-1)

t_{изб} - температура, для которой вычисляется энтальпия, ⁰С; t_м - температура, соответствующая меньшей энтальпии искомого интервала, ⁰С; I_{изб} - энтальпия, по значению которой определяется температура.

Таблица 2 *Энтальпия продуктов сгорания*

| Поверхность нагрева | Температура после поверхности нагрева, °С | I_e^0 | $I_{д.г}^0$ | $I_{изб}^e$ | $I_{д.г}$ | |
|--|---|---------|-------------|-------------|-----------|--|
| Верх топочной камеры, фестон, $\alpha_m =$ | 2000 | | | | | |
| | 1900 | | | | | |
| | 1800 | | | | | |
| | 1700 | | | | | |
| | 1600 | | | | | |
| | 1500 | | | | | |
| | 1400 | | | | | |
| | 1300 | | | | | |
| | 1200 | | | | | |
| | 1100 | | | | | |
| | 1000 | | | | | |
| Пароперегреватель, $\alpha_m =$ | 900 | | | | | |
| | 800 | | | | | |
| | 700 | | | | | |
| | 600 | | | | | |
| | 500 | | | | | |
| | Конвективные пучки, $\alpha_k =$ | 700 | | | | |
| | | 600 | | | | |
| 500 | | | | | | |
| 400 | | | | | | |
| 300 | | | | | | |
| Водяной экономайзер, $\alpha_{эк} =$ | 400 | | | | | |
| | 300 | | | | | |
| | 200 | | | | | |
| Воздухоподогреватель, $\alpha_{вт} =$ | 200 | | | | | |
| | 100 | | | | | |

Примечания к таблице

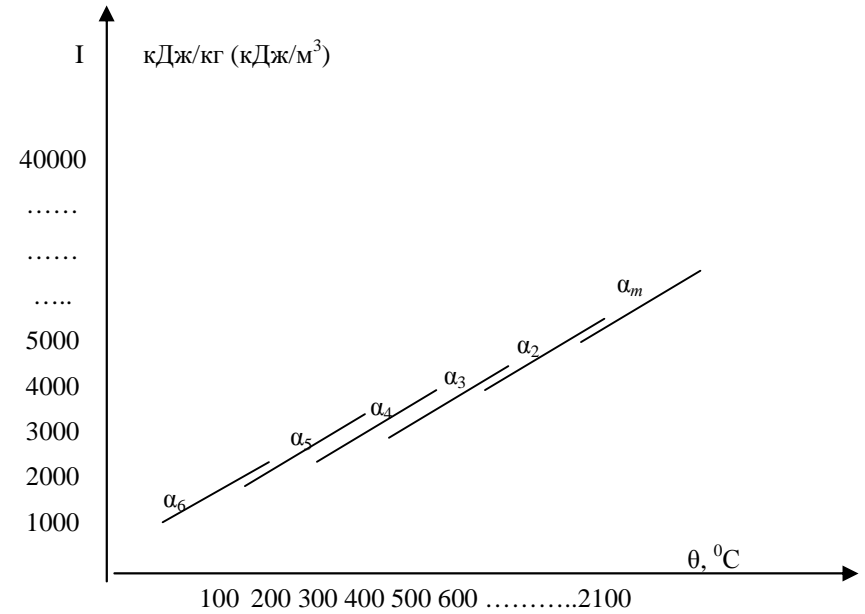
При составлении табл. I – θ рекомендуется для каждого значения коэффициента избытка воздуха определить величину I в пределах, немного превышающих реально возможные температуры в газоходах. Около величин I целесообразно помещать величину ΔI – разность двух соседних по вертикали значений I при

| Газопровод | Состав газа по объему, % | | | | | | Нижняя теплота сгорания сухого газа, кДж/м³ | Плотность газа при нормальных условиях, кг/м³ |
|--|--------------------------|------|------|-------|-----------------------|------|---|---|
| | CH₄ | C₂H₆ | C₃H₈ | C₄H₁₀ | C₅H₁₂ и более тяжелые | N₂ | | |
| Саратов—Москва | 84,5 | 1,9 | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 7,8 | 0,8 | 0,837 |
| Саратов—Горький | 91,9 | 1,3 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 3,0 | 1,2 | 0,786 |
| Ставрополь—Москва | | | | | | | | |
| 1-я нитка | 93,8 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 2,6 | 0,4 | 0,764 |
| 2-я нитка | 92,8 | 0,9 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 2,5 | 0,5 | 0,772 |
| 3-я нитка | 91,2 | 1,2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 2,6 | 0,5 | 0,786 |
| Серпухов—Ленинград | 89,7 | 1,7 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 2,7 | 0,1 | 0,799 |
| Гоголево—Полтава | 85,8 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0 | 13,7 | 0,1 | 0,789 |
| Дашава—Киев | 98,9 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,4 | 0,2 | 0,712 |
| Рудки—Минск—Вильнюс | 95,6 | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 2,8 | 0,1 | 0,740 |
| Углерско—Львов, Углерско—Гнездици—Киев | 98,5 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 1,0 | 0,2 | 0,722 |
| Брянск—Москва | 92,8 | 1,1 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 1,6 | 0,1 | 0,776 |
| Шебелинка—Днепропетровск | 92,8 | 1,0 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,5 | 0,1 | 0,781 |
| Шебелинка—Брянск—Москва | 94,1 | 0,6 | 0,2 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | — | 0,776 |
| Кумертау—Ишимбай—Магнитогорск | 81,7 | 2,9 | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 8,8 | 0,1 | 0,858 |
| Промысловка—Астрахань | 97,1 | 0,3 | 0,1 | 0 | 0 | 2,4 | 0,1 | 0,733 |
| Газли—Коган | 95,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 1,1 | 0,2 | 0,750 |
| Джаркент | 95,5 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 1,0 | 0,1 | 0,748 |
| Газли—Коган—Ташкент | 94,0 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 2,0 | 0,4 | 0,751 |
| Ставрополь—Невинномысск—Грозный | 98,2 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0 | 1,0 | 0,2 | 0,728 |
| Саунино—Лог—Волгоград | 96,1 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0 | 2,8 | 0,2 | 0,741 |
| Коробки—Лог—Волгоград | 93,2 | 1,9 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 3,0 | 0,7 | 0,766 |
| Каралаг—Тбилиси—Ереван | 93,9 | 3,1 | 1,1 | 0,3 | 0,1 | 1,3 | 0,2 | 0,766 |
| Бухара—Урал | 94,9 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 0,4 | 0,758 |
| Урич—Сторожовка | 91,9 | 2,4 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 3,2 | 0,5 | 0,789 |
| Линеве—Кологривовка—Вольск | 93,2 | 2,6 | 1,2 | 0,7 | — | 2,0 | 0,3 | 0,782 |
| Средняя Азия—Центр | 93,8 | 3,6 | 0,7 | 0,2 | — | 0,7 | 0,6 | 0,776 |
| Уренгой—Помары—Ужгород | 98,4 | 0,1 | — | — | — | 1,2 | 0,3 | 0,838 |

Таблица 2.1. Расчетные характеристики некоторых твердых и жидких топлив

| Бассейн, место рождения | Марка топлива | Класс | Состав рабочей массы топлива, % | | | | | | Низшая теплота сгорания $Q_{нп}$ МДж/кг | Максимальные влажность | | Температура плавления золы, °С | | | Приведенные | | Выход летучих на горячую массу, % | |
|---------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|------|--------------|-------|------|-----|---|------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|-------|-------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | | | ВР | АР | $S_{op} + K$ | C_p | НР | НР | | NP | ОР | влажность | зольность | t_1 | t_2 | t_3 | | влажностность |
| | | | ЩР | АР | $S_{op} + K$ | C_p | НР | НР | NP | ОР | влажность | зольность | t_1 | t_2 | t_3 | влажностность | зольностность | |
| Донецкий | ДГ | Р | 13,0 | 21,8 | 3,0 | 49,3 | 3,6 | 1,0 | 8,3 | 19,59 | 18,0 | 31,5 | 1000 | 1200 | 1280 | 0,664 | 1,113 | 44,0 |
| Кузнецкий | Т | Р | 8,0 | 23,0 | 3,2 | 55,2 | 3,8 | 1,0 | 5,8 | 22,02 | — | 31,5 | 1050 | 1200 | 1280 | 0,363 | 1,044 | 40,0 |
| | Д | Р, СШ | 5,0 | 23,8 | 2,8 | 62,7 | 3,1 | 0,9 | 1,7 | 24,20 | 8,0 | 31,5 | 1060 | 1200 | 1250 | 0,207 | 0,983 | 15,0 |
| Томунгинские, Черноговский углеразрез | 1СС | Р | 12,0 | 13,2 | 0,3 | 58,7 | 4,2 | 1,9 | 9,7 | 22,82 | 13,5 | 25,0 | 1130 | 1200 | 1250 | 0,526 | 0,578 | 42,0 |
| | 2СС | Р | 12,0 | 18,9 | 0,4 | 59,1 | 3,4 | 1,7 | 4,5 | 22,57 | 20,0 | 25,0 | 1120 | 1270 | 1300 | 0,532 | 0,837 | 25,0 |
| Экибастузский | СС | Р | 7,0 | 38,1 | 0,8 | 43,4 | 2,9 | 0,8 | 7,0 | 16,75 | — | 44,0 | 1300 | 1500 | 1500 | 0,418 | 2,275 | 30,0 |
| | Б2 | Р | 32,0 | 25,2 | 2,7 | 28,7 | 2,2 | 0,6 | 8,6 | 10,42 | — | 45,0 | 1350 | 1500 | 1500 | 3,071 | 2,418 | 50,0 |
| Молдосковский | Ж | Р | 5,5 | 23,6 | 0,8 | 59,6 | 3,8 | 1,3 | 5,4 | 23,65 | 7,5 | 32,0 | 1140 | 1200 | 1250 | 0,232 | 0,998 | 33,0 |
| | Кизеловский | Р, К, М | 6,0 | 31,0 | 6,1 | 48,5 | 3,6 | 0,8 | 4,0 | 19,68 | 8,0 | 40,0 | 1200 | 1450 | 1500 | 0,305 | 1,575 | 42,0 |
| Челябинский | Б3 | Р | 18,0 | 29,5 | 1,0 | 37,3 | 2,8 | 0,9 | 10,5 | 13,94 | — | 45,0 | 1150 | 1250 | 1300 | 1,291 | 2,116 | 45,0 |
| | Ирша-Бородинское | Р | 33,0 | 6,0 | 0,2 | 43,7 | 3,0 | 0,6 | 13,5 | 15,66 | 36,0 | 15,0 | 1180 | 1210 | 1230 | 2,107 | 0,383 | 48,0 |
| Сучанский | Т | Р | 5,0 | 22,8 | 0,5 | 64,6 | 2,9 | 0,8 | 3,4 | 24,24 | 7,0 | 33,0 | 1100 | 1250 | 1280 | 0,206 | 0,940 | 19,0 |
| | Артемовское | Р, СШ | 24,0 | 24,3 | 0,3 | 35,7 | 2,9 | 0,7 | 12,1 | 13,31 | 30,0 | 36,0 | 1130 | 1300 | 1320 | 1,803 | 1,825 | 50,0 |
| Сланец ЭССР | — | Мелкозерный | 13,0 | 40,0 | 2,6 | 24,1 | 3,1 | 0,1 | 3,7 | 10,93 | — | — | 1300 | 1400 | 1430 | 1,189 | 3,660 | 90,0 |
| Торф | — | Фре-зерный | 50,0 | 6,3 | 0,1 | 24,7 | 2,6 | 1,1 | 15,2 | 8,12 | 55,0 | 23,0 | 1010 | 1150 | 1200 | 6,160 | 0,776 | 70,0 |
| Мазут | | Малосернистый | 3,0 | 0,05 | 0,3 | 84,65 | 11,7 | 0,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | Сернистый | 3,0 | 0,1 | 1,4 | 83,80 | 11,2 | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | Высокосернистый | 3,0 | 0,1 | 2,8 | 83,00 | 10,4 | 0,7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

одном значении α . По данным таблицы строится на миллиметровой бумаге график зависимости энтальпии продуктов сгорания от температуры θ ($I - \theta$ диаграмму). При построении $I - \theta$ диаграммы рекомендуется выбирать следующие масштабы: для температуры θ (ось абсцисс) – $100^\circ\text{C} - 1\text{см}$ для энтальпии I (ось ординат) – $1000 \text{ кДж/кг} - 1\text{см}$



4.3 Тепловой баланс парогенератора или водогрейного котла.

Тепловой баланс парогенератора или водогрейного котла составляется на 1 кг твердого или жидкого топлива или на 1 м^3 газообразного топлива для установившегося режима работы агрегата

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}$$

Или

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100\%$$

где Q_p^p – располагаемое тепло топлива кДж/кг (кДж/м³)
 Q_1 - полезно использованное тепло, пошедшее на получение пара или горячей воды, кДж/кг (кДж/м³)

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} \cdot 100 (\%)$$

Q_2 – потери тепла с уходящими дымовыми газами, кДж/кг (кДж/м³)

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} \cdot 100 (\%)$$

Q_3 – потери тепла от химической неполноты сгорания топлива, кДж/кг (кДж/м³)

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_p} \cdot 100 (\%)$$

Q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, кДж/кг

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_p} \cdot 100 (\%)$$

Q_5 – потери тепла в окружающую среду, кДж/кг (кДж/м³)

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_p} \cdot 100 (\%)$$

Q_6 – потери тепла с физическим теплом шлаков, удаленных из топки, кДж/кг

$$q_6 = \frac{Q_6}{Q_p} \cdot 100 (\%)$$

При сжигании жидкого и газообразного топлива потери тепла Q_4 и Q_6 отсутствуют.

В курсовом проекте принять:

а) для твердого и жидкого топлива $Q_p^P = Q_H^P$, кДж/кг

б) для газообразного топлива $Q_p^P = Q_H^C$, кДж/м³

Определяется потеря тепла с уходящими газами:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p} \cdot 100 = \frac{I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{xв}^0}{Q_p} \cdot (100 - q_4), \%$$

Где I_{yx} – энтальпия уходящих газов – определяется по $I - \theta$ диаграмме при температуре уходящих газов θ_{yx} и α_{yx} ;

θ_{yx} – определяется по табл.1.1 (см Приложение)

$I_{xв}^0$ – энтальпия холодного воздуха $I_{xв}^0 = V_{в}^0 \cdot (C\theta)_{xв}$

Температура холодного воздуха $\theta_{xв}$ принять 30⁰С, соответственно, энтальпия 1 м³ холодного воздуха составляет: $(C\theta)_{xв} = 39,8$ кДж/м³

α_{yx} – коэффициент избытка воздуха на выходе из котлоагрегата,

q_3, q_4 – определяются по таблице 4.1-4.4 (Л-1)

q_5 – определяется по таблице 4.5-4.6 (Л-1)

Потери q_6 определяются по формуле

$$q_6 = \frac{a_{шл} \cdot (C\theta)_{шл} \cdot A^P}{Q_p} (\%),$$

где $a_{шл}$ – доля золы топлива в шлаке, принимается равной $a_{шл} = 1 - a_{ун}$;

$(C\theta)_{шл}$ – энтальпия шлаков.

Энтальпия шлаков при сухом шлакоудалении принимается $t = 600^0$ С и

$(C\theta)_{шл} = 560$ кДж/кг.

В случае жидкого шлакоудаления определяется плавкостью шлака и принимается в расчетах $t_{шл}^ж = t_3 + 100^0$ С

| | | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| $t_{шл}^ж$ | ⁰ С | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 |
| $(C\theta)_{шл}$ | кДж/кг | 1360 | 1580 | 1760 | 1870 |

При камерном сжигании топлив (твердых) в топках с жидким шлакоудалением q_6 учитывается только при

$$A^P \geq \frac{Q_H^P}{100} (\%)$$

5. Котельные установки и их обслуживание. Деев Л.В., Балахничев Н.А. – М.: Высшая школа, 1989
6. Паровые и водогрейные котлы. Справочное пособие. Зыков А.К. – М. – Энергоатомиздат, 1987
7. Конструкция и расчет котлов и котельных установок. Двойнишников В.А. – М.: - Машиностроение, 1988
8. Котельные установки. Щеголев М.М., Гусев Ю.Л., Иванова М.С. – М.: Стройиздат, 1966

Требования при защите курсового проекта.

На защиту проекта предъявляется: расчетно-пояснительная записка и чертежи котла.

Студент должен знать конструкцию в целом, конструктивные особенности поверхностей нагрева и отдельных узлов.

При использовании справочной и нормативной информации дается точная ссылка на литературный источник и обосновывается выбор той или иной величины.

Защита курсовой работы принимается преподавателем. Студентом готовится сообщение (доклад) на 5...8 мин, в котором указываются:

- тип котла и вид топлива, принятые к расчету;
- характеристика конструкции котла;
- краткая характеристика выполненной работы;
- характеристика разработанной конструкции экономайзера или воздухоподогревателя;
- основные результаты расчетов.

По окончании сообщения студенту задаются вопросы в объеме вопросов, затронутых при выполнении курсовой работы.

Общий перечень рекомендуемой литературы

Основная

Л-1: Р.И. Эстеркин Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование, Л.: Энергоатомиздат, 1989

Л-2: Р.И. Эстеркин Промышленные котельные установки, Л.: Энергоатомиздат, 1985

Л-3: К.Ф. Роддатис, А.Н. Полтарецкий «Справочник по котельным установкам малой производительности», М.: Энергоатомиздат, 1989г.

Л-4: Ривкин «Термодинамические таблицы воды и водяного пара», М.: Энергоатомиздат, 1984г.

Дополнительная

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод)/ под ред. Н.В. Кузнецова и др. – М.: Энергия, 1973
2. Аэродинамический расчет котельных установок, Нормативный метод / Под ред. С.И. Мочана – Л.: Энергия, 1977
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов (ПБ 10-574-03) / Госгортехнадзор России – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2003
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03). - / Госгортехнадзор России – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2003

Суммарная потеря тепла в парогенераторе: $\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$ (%)

Коэффициент полезного действия парогенератора (q_1) брутто:

$$\eta_{\text{к.а.}}^{\text{бр}} = \frac{Q_1}{Q_P} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

$$\eta_{\text{к.а.}}^{\text{бр}} = 100 - \sum q \text{ (\%)}$$

$\eta_{\text{к.а.}}^{\text{бр}}$ – дает оценку превращения химической энергии топлива в тепло пара или горячей воды.

Определяется количество тепла, полезно отданного в котлоагрегата или водогрейном котле:

$$Q_{\text{к.а.}} = D[(h_{\text{п.п.}} - h_{\text{п.в.}}) + \frac{P}{100} (h_{\text{кв.}} - h_{\text{п.в.}})], \text{ кВт}$$

где $h_{\text{п.п}}$ – энтальпия перегретого пара кДж/кг, определяется по температуре и давлению из табл. 3.2 (Л-3)

$h_{\text{п.в}}$ – энтальпия питательной воды кДж/кг, $h_{\text{п.в}} = t_{\text{п.в}} \cdot c_{\text{п.в}}$, $c_{\text{п.в}} = 4,19$ кДж/ кг · град

P – процент продувки, %

$h_{\text{кв}}$ – энтальпия котловой воды в барабане котла, кДж/кг – определяется по давлению: Л-4

D – Паропроизводительность, кг/с – из данных

$$Q_{\text{вк}} = G_{\text{в}}(h_{\text{г.в.}} - h_{\text{х.в.}}), \text{ кВт},$$

где $G_{\text{в}}$ – расход воды через водогрейный котел, кг/с

$h_{\text{г.в.}}$, $h_{\text{х.в.}}$ – энтальпия горячей и холодной воды (на выходе и входе в водогрейный котел, кДж/ кг). Определение расчетного расхода топлива является основной целью составления теплового баланса.

Действительный расход топлива, подаваемого в топку парового или водогрейного котла, определяется из уравнения прямого теплового баланса:

$$V_{\text{к.а.}} = \frac{Q_{\text{к.а.}}}{Q_P \cdot \eta_{\text{к.а.}}^{\text{бр}}} \cdot 100, \text{ кг/с (м}^3\text{/с)}$$

$$V_{\text{в.к.}} = \frac{Q_{\text{в.к.}}}{Q_P \cdot \eta_{\text{в.к.}}^{\text{бр}}} \cdot 100, \text{ кг/с (м}^3\text{/с)}$$

Расчетный расход топлива: для твердого топлива $V_P = V_{\text{п.г.}} (1 - q_4 : 100)$, кг/сек

Для газа и мазута $V_P = V_{\text{п.г.}}$

Коэффициент сохранения теплоты: $\phi = 1 - q_5 : 100$

4.4 Расчет теплообмена в топке и размеров топочной камеры

4.4.1 Определение объема камерной топки, он должен соответствовать объему, указанному в паспортных данных

$$V_m = \frac{B \cdot Q_{\text{н}}}{q_v}, \text{ м}^3$$

q_v – удельная нагрузка топочного объема

4.4.2 Определение объема слоевой топки

$$V_m = \frac{B \cdot Q_H^p}{q_R}, \text{ м}^3$$

Длина колосниковой решетки

$$b = \frac{R_{зг}}{a}, \text{ м}$$

a – ширина котла в свету, брать по чертежу

Высота топочной камеры

$$h = \frac{V_m}{R_{зг}}, \text{ м}$$

4.4.3 Расчет теплообмена в топке производится с целью определения температуры газов на выходе из топки – θ''_m

4.4.4 Во избежание шлакования при сжигании твердых топлив полученная температура должна быть на 50-70⁰С ниже температуры начала деформации золы, т.е. $\theta''_m < t_1 - (50-70)^{0}\text{С}$

Полезное тепловыделение в топке рассматриваем при адиабатном процессе и определяем теоретическую теплоту:

$$Q_m = I_m = Q_H^p \cdot \frac{100 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6}{100} + Q_6, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)},$$

где Q_6 – тепло, внесенное в топку с горячим или холодным воздухом

$$Q_6 = \alpha_m \cdot V^0 \cdot C_6 \cdot t_6, \text{ кДж/кг}$$

t_6 – температура воздуха, поступающего в топку – берется из характеристики котла, если имеется воздухоподогреватель, при отсутствии воздухоподогревателя принимается 25-30⁰С

$C_6 \approx 1,3 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{град}$

По I_m методом интерполяции находим теоретическую температуру

(см. формулу (II) раздел 4.2)

Зная полезное тепловыделение в топке, находим по таблице 2 расчета

теоретическую температуру газов в топке θ_a или по I – θ диаграмме

При поверочном тепловом расчете лучевоспринимающая поверхность нагрева

(H_p) задана, а определению подлежит температура газов на выходе из топки θ''_m

Расчет теплообмена в топке ведем графически по номограмме стр.147 (Л-1),

стр.54 (Л-2)

Находим степень экранирования топки X:

$$\text{а) слоевой } X = \frac{H_p}{F_{ст} - R_{зг}}$$

Топки с чешуйчатой цепной решеткой: ТЧ – 2,7/6,5 – $R_{зг} = 15,5 \text{ м}^2$

ТЧ – 2,7/80 – $R_{зг} = 19,5 \text{ м}^2$

ТЧ – 3,07/5,6 – $R_{зг} = 14,8 \text{ м}^2$

Топки с пневматическим забрасывателями и цепной решеткой обратного хода:

ТЛЗ – 2,7/3,0 – $R_{зг} = 6,4 \text{ м}^2$

ТЛЗ – 2,7/4,0 – $R_{зг} = 9,1 \text{ м}^2$

ТЧЗ – 2,7/5,6 – $R_{зг} = 13,4 \text{ м}^2$

14

Выбрав подходящий по характеристике вентилятор, выписывают его производительность, напор, число оборотов, кпд. После этого приступают к определению потребляемой мощности и подбору электродвигателя.

$$\text{Мощность, потребляемая вентилятором: } N_B = \frac{V_B S_{вт} \cdot 1,1}{102 \cdot 3600 h_B \cdot h_{р.п.}}, \text{ кВт}$$

Где $S_{вт}$ – полный напор, развиваемый вентилятором, мм вод. ст., Па
При наличии ременной передачи $\eta_{р.п.} = 0,95$. По мощности и числу оборотов электродвигатель выбирают по каталогу, откуда и выписывают его параметры.

5.4 Определяем производительность дымососа

$$V_d = 1,1B V_{yx} \left(\frac{t_{пс}^{yx} + 273}{273} \right), \text{ м}^3/\text{ч}$$

Марку дымососа по производительности и напору находим в Л-3.

Выбрав подходящий по характеристике дымосос, выписывают его производительность, напор, число оборотов, кпд. Выписанный оттуда напор пересчитывают на действительный для горячего газа:

$$S_{гт} = H_{дым}^{кат} \frac{273 + 20}{273 + J_{тр}}, \text{ мм.вод.ст., Па}$$

Затем приступают к определению потребляемой мощности и подбору электродвигателя

5.5 Мощность, потребляемая дымососом (вентилятором), определяется по формуле:

$$N_{дым} = \frac{V_{дым} S_{дым} \cdot 1,1}{102 \cdot 3600 h_{дым} \cdot h_{р.п.}}, \text{ кВт}$$

При наличии ременной передачи $\eta_{р.п.} = 0,95$. По мощности и числу оборотов электродвигатель выбирают по каталогу, откуда и выписывают его параметры.

7. Вывод

Полученные расчетные данные сводим в таблицу и сопоставляем с техническими характеристиками, взятыми из справочника и на основании этого делаем вывод по выполненным расчетам.

| Наименование | Справочные данные | Расчетные данные |
|-------------------------------|-------------------|------------------|
| КПД, % | | |
| Расход топлива на котел, кг/с | | |
| Тип экономайзера | | |
| Дымосос | | |
| Вентилятор | | |

$$S_k = A \left(\frac{D}{H_k} \alpha_k \right)^2 - B, \text{ [мм вод.ст.], [Па]}$$

| | |
|-----------------|--|
| ГЛЗМ – 2,1/6,5 | - R _{зг} = 15,8 м ⁻¹ |
| ГЛЗМ – 1,87/3,0 | - R _{зг} = 4,4 м ² |
| ГЛЗМ – 2,7/3,0 | - R _{зг} = 6,4 м ² |

A=0,005 - коэффициент

B= 2 - коэффициент

H_k- площадь конвективной поверхности из характеристики котлов, [м²]

D- Паропроизводительность, [кг/ч]

α_г - коэффициент избытка воздуха в топке

$$\alpha_{\text{кп}}^I = \alpha_{\text{г}} + \Delta \alpha_{\text{кп}}^I$$

$$\alpha_{\text{кп}}^{II} = \alpha_{\text{кп}}^I + \Delta \alpha_{\text{кп}}^{II}$$

Сопротивление пароперегревателя подсчитывают так же как и газоход котла.

S_{в.э.}- сопротивление водяного экономайзера

$$S_{\text{в.э.}} = 0,5n \frac{W_{\text{п.с.}}^2}{2} \rho_{\text{п.с.}}, \quad W_{\text{п.с.}} - \text{ скорость продуктов сгорания в водяном экономайзере [м/с],}$$

n- число рядов труб, пересекаемых газовым потоком (Л-3 стр 317)

$$\rho_{\text{п.с.}} = \frac{273}{273 + t_{\text{ср}}^{\text{пс}}} \rho_{\text{о}}, \text{ [м}^3/\text{кг]}$$

ρ_{пс}- плотность продуктов сгорания, [м³/кг]

ρ_о=1,34 [кг/м³]- плотность при t=0°C и P=760 мм рт. ст.

t_{ср}^{пс}- средняя температура продуктов сгорания в водяном экономайзере [°C]

(см расчет водяного экономайзера) t_{ср}^{пс} = Δ t_{в.э.}

S_{шиб} – сопротивление шибера – 1-2 мм вод.ст.; 10-20 Па

S_б – сопротивление борова для приближенных расчетов в котлах малой и средней производительности можно принять:

без циклонных золоуловителей- 4-6 мм вод.ст., 40-60 Па

с циклонными золоуловителями – 10-15 мм вод.ст., 100-150 Па

S_з – сопротивление золоулавливателя –

для жалюзийного типа 40-60 мм вод.ст.. 400-600 Па

- для батарейного типа 60-70 мм вод.ст., 600-700 Па

S_{тр} – сопротивление дымовой трубы -2-10 мм вод.ст., 20-100 Па

Расчет сопротивления воздухоподогревателя см. дополн. Л-8

5.3 Определяем производительность вентилятора

$$V_{\text{в}} = 1,1B V^{\circ} \alpha_{\text{г}} \left(\frac{t_{\text{в}} + 273}{273} \right), \text{ м}^3/\text{ч}$$

B – расход топлива, кг/ч, кг/с

t_в = 30°C – температура воздуха, подаваемого в топку по нормативному методу

По напору и производительности выбираем вентилятор (Л-3) и выписываем его характеристики.

$$\text{б) камерной } X = \frac{H_p}{F_{\text{ст}}}$$

F_{ст} – полная поверхность стен топки, м²

$$F_{\text{ст}} = 6 \sqrt[3]{V_m^2}$$

Коэффициент загрязнения топочных экранов

ζ - 0,65 – для газообразного топлива

ζ - 0,55 - для мазута

ζ - 0,6 - все виды топлива при слоевом сжигании

Коэффициент тепловой эффективности экранов ψ = X ζ

Степень черноты факела можно принять: мазут - a_ф = 0,45 – 0,8

газ - a_ф = 0,4

твердое топливо - a_ф = 0,45-0,7

Тепловыделение на 1 м² поверхности стен топки

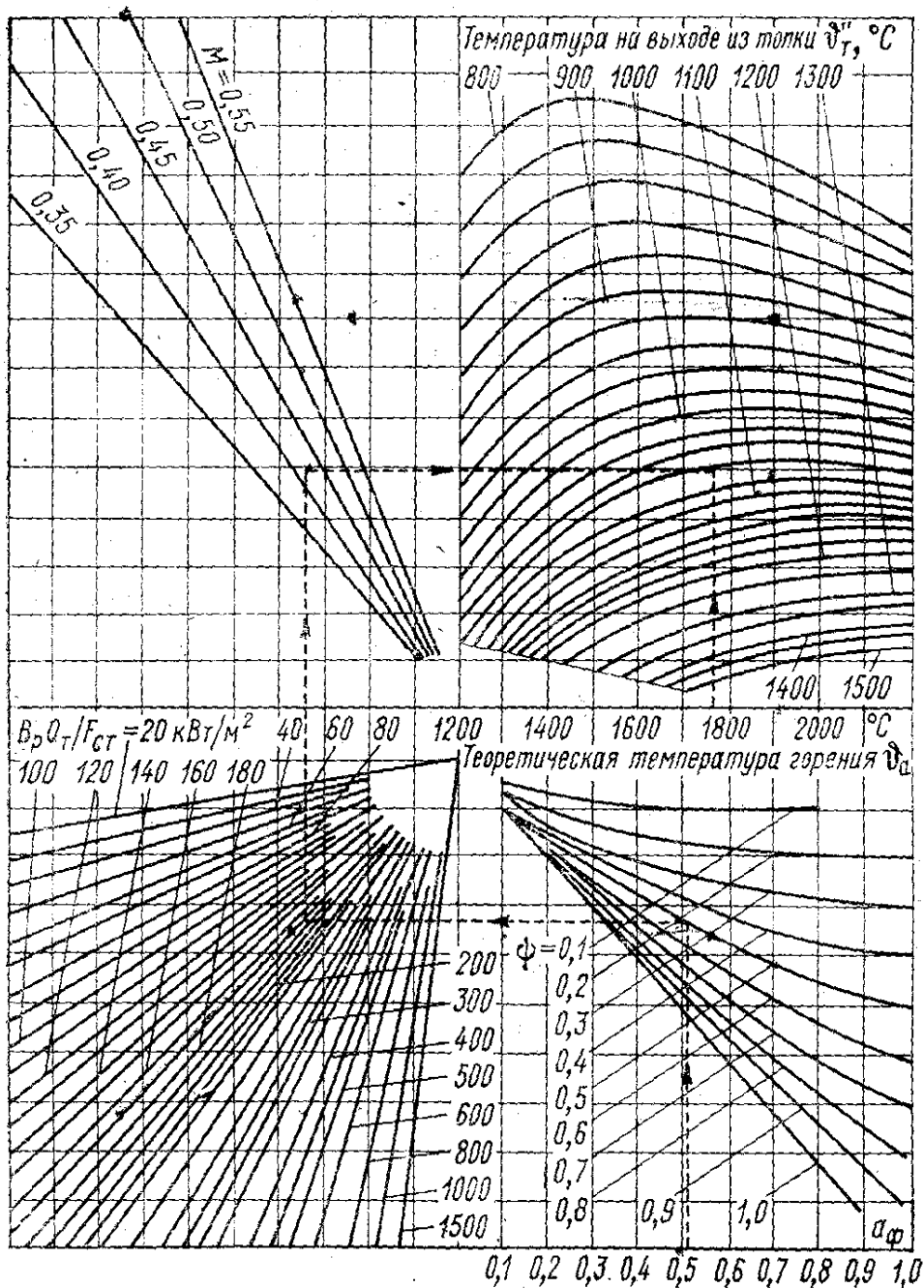
$$\frac{BQ_{\text{н}}^{\text{п}}}{F_{\text{ст}}}, \text{ кВт/м}^2$$

Значение коэффициента «M» можно принять:

Для газа и мазута M = 0,49-0,53

Для твердых топлив M = 0,42-0,52

Находим по номограмме θ_m – действительная температура на выходе из топочной камеры - стр 68 (Л-1) или см. Приложение 0.1



$S_{\text{воздухов}}$ - сопротивление воздуховода 2-4 мм вод. ст, 20-40 Па, при наличии воздухоподогревателя следует учесть сопротивление по воздуху. Оно определяется по тому же методу как и у газового сопротивления.

Сопротивление топочных устройств для прохода воздуха

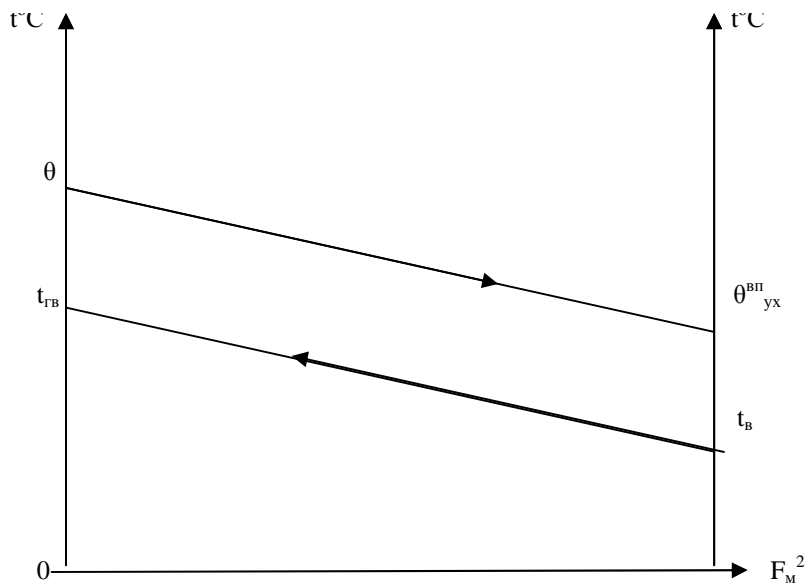
| Тип топочного устройства | Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки | Сопротивление горелки или решетки со слоем топлива, Па |
|---|--|--|
| <i>Газовые и газомазутные горелки</i> | | |
| Подовая горелка (щелевая) | 1.1-1.15 | 200 |
| Вертикальная щелевая горелка | 1.1-1.15 | 175 |
| ГМ-2,5 | 1.1 | 800 |
| ГМ-4,5 | 1.1 | 900 |
| ГМ-7 | 1.1 | 1100 |
| ГМ-10 | 1.1 | 1600 |
| ГМП-16 (сопротивление приведено по первичному воздуху) | 1.1 | 4000 |
| ГМГ-1,5М, ГМГ-2М, ГМГ-4М, ГМГ-5М | 1.15 | 1200 |
| РГМГ-4 | 1.1 | 1000 |
| РГМГ-6,5 и РГМГ-7 | 1.1 | 1800 |
| РГМГ-10 | 1.1 | 1050 |
| РГМГ-20 | 1.1 | 1500 |
| РГМГ-30 | 1.1 | 2500 |
| <i>Топки для слоевого сжигания</i> | | |
| Топки с цепной решеткой (антрациты АМ и АС, $A'' = 0,5$) | 1.5-1.6 | 1000 |
| Топки с пневмомеханическими забрасывателями и решеткой обратного хода | 1.3-1.4 | 500 |
| Топки скоростного горения для сжигания: | | |
| Рубленой щепы, $W^P = 50\%$ | 1.2 | 700 |
| Дробленых отходов и опилок, $W^P = 50\%$ | 1.3 | 1000 |

5.2 Сопротивление котельной установки складывается из сопротивления топки котла, пароперегревателя, водяного экономайзера, воздухоподогревателя, заслонки, регулирующей тягу, борова, золоуловителя и дымовой трубы с запасом 20%.

$$S_{\text{г.т.}} = 1,2(S_T + S_K + S_{\text{пт}} + S_{\text{в.э.}} + S_{\text{в.п.}} + S_{\text{ш}} + S_0 + S_3 + S_{\text{тр}}) \text{ [мм вод.ст.], [Па]}$$

S_T - сопротивление топки – 2-3мм вод.ст., 20-30 Па (разрежение)

S_K - сопротивление конвективной поверхности для вертикально-водотрубных котлов в приближенном расчете определяем по эмпирической формуле



4.8.3 Живое сечение воздухоподогревателя для прохода продуктов сгорания:

$$f_{\text{жс}} = \frac{BV_{\text{r}}(273 + \theta_{\text{cp}})}{273 \cdot W_{\text{r}}}, \text{ м}^2$$

$$\theta_{\text{cp}} = \frac{\theta + \theta_{\text{ух}}^{\text{вп}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} - \text{средняя температура продуктов сгорания в воздухоподогревателе.}$$

W_{r} – скорость продуктов сгорания в воздухоподогревателе, $W_{\text{r}} = 12 \div 16$ м/с
Зная $N_{\text{вп}}$ и $f_{\text{жс}}$ подбирается воздухоподогреватель.

4.8.4 Экономический эффект от установки воздухоподогревателя:

$$q' = \alpha t V^{\circ} C_{\text{в}}(t_{\text{гв}} \cdot t_{\text{в}}), \text{ кДж/кг}$$

$$q = \frac{q_{\text{вп}}}{Q_{\text{H}}} \cdot 100\%$$

При сжигании жидкого и газообразного топлива необходимо подобрать форсунки или горелки.

5. Аэродинамический расчет газоздушного тракта (приближенный)

5.1 Определяем сопротивление воздушного тракта:

$$S_{\text{вт}} = S + S_{\text{воздухов.}} \text{ [мм вод. ст.], [Па]}$$

S - сопротивление колосниковой решетки или учитываем тип горелки

(Характеристика топчного устройства)

4.5 Расчет пароперегревателя

Расчет пароперегревателя может быть поверочным или конструктивным. Конструктивный расчет выполняется при создании новых паровых котлов в конструкторских бюро заводов-изготовителей.

При проектировании и эксплуатации котельных установок чаще всего приходится выполнять поверочный расчет пароперегревателя.

Последовательность расчета пароперегревателя зависит от расположения его в газовом тракте котельного агрегата, способа регулирования температуры перегрева пара и схемы включения регулятора перегрева.

Последовательность расчета конвективного пароперегревателя.

4.5.1 Принимается диаметр труб пароперегревателя, $d_{\text{н}}$, м; относительный,

продольный и поперечный шаги труб, $\frac{S_1}{d}$, $\frac{S_2}{d}$ (табл. 8.13 – 8.12 Л-3)

4.5.2 Принимается расположение труб (шахматное или коридорное)

4.5.3 Вычисляется расчетная скорость пара в змеевиках пароперегревателя

$$W_{\text{п}} = \frac{D \cdot V_{\text{cp}}}{f}, \text{ м/сек}$$

где D – расход пара, кг/с, из марки котла;

V_{cp} – средний удельный объем пара, табл.3.1 Л-1

f – площадь живого сечения для прохода пара, м^2

$$f = z_1 \cdot \frac{pd_{\text{вн}}^2}{4}$$

$d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, м

z_1 – число параллельно включенных змеевиков, шт – выбирается с целью получения скоростей пара 15-25 м/сек (для надежного охлаждения трубок пароперегревателя)

4.5.4 Количество тепла, воспринятое паром:

$$Q_{\text{пп}} = D(h_{\text{пп}} - h_{\text{нп}}) + D(1-x) \cdot q, \text{ кВт}$$

$h_{\text{пп}}$ – энтальпия перегретого пара, определяется по табл 3.2 Л-3

$h_{\text{нп}}$ – энтальпия насыщенного пара, табл. 3.1 Л-3

x – степень сухости пара, $x = 0,97 \div 0,98$

q – теплота парообразования – табл. 3.1 Л-3

4.5.5 Тепло, переданное в пароперегревателе на 1 кг топлива

$$Q_{\text{б}} = \frac{Q_{\text{пп}}}{B_{\text{п}}}, \text{ кДж/кг (кДж/сек)}$$

4.5.6 Теплота, отданная продуктами сгорания пару:

$$Q_{\text{б}} = \varphi(\Gamma''_{\text{пп}} - \Gamma''_{\text{нп}} + \Delta\alpha_{\text{пп}} \cdot \Gamma^{\circ}_{\text{хв}})$$

Из этой формулы определяем энтальпию продуктов сгорания за пароперегревателем:

$$\Gamma''_{\text{пп}} = \Gamma''_{\text{нп}} + \Delta\alpha_{\text{пп}} \cdot \Gamma^{\circ}_{\text{хв}} - \frac{Q_{\text{б}}}{j}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}$$

4.5.7 Температура газов за пароперегревателем определяется по $I - \theta$ диаграмме по величине $I''_{\text{пн}} - \theta''_{\text{пн}}$, °C или методом интерполяции (см формулу (I),(II) раздел 4.2

4.5.8 Средняя температура дымовых газов:

$$q_{\text{ср}}^{\text{пн}} = \frac{q'_{\text{пн}} + q''_{\text{пн}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $\theta'_{\text{пн}} = \theta''_{\text{т}}$, определяемая из расчета топки.

4.5.9 Средний секундный расход дымовых газов

$$V_{\text{с}} = V_{\text{р}} \cdot V_{\text{др}} \cdot \frac{q_{\text{ср}}^{\text{пн}} + 273}{273}, \text{ м}^3/\text{сек (кг/сек)}$$

4.5.10 Живое сечение для прохода дымовых газов, м^2

- при поперечном омывании гладких труб - $F_2 = ab - z_1 \ell d_{\text{н}}$,

- при продольном омывании гладких труб - $F_2 = ab - z_1 \frac{pd^2}{4} \ell d_{\text{н}}$

где a – ширина газохода, м

b – высота газохода, м

ℓ - длина трубы, м , равная b

$d_{\text{н}}$ – наружный диаметр, м

4.5.11 Средняя скорость дымовых газов:

$$w_{\text{др}} = \frac{V_{\text{с}}}{F_2}, \text{ м/с}$$

4.5.12 Коэффициент теплоотдачи конвекции от газов к поверхности нагрева $\alpha_{\text{к}}$:

- при поперечном омывании коридорных и шахматных пучков и ширм

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha_{\text{н}} c_{\text{з}} c_{\text{с}} c_{\text{ф}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}$$

- при продольном омывании

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha_{\text{н}} c_{\text{ф}} c_{\ell}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}$$

4.5.13 Коэффициент теплоотдачи от поверхности нагрева к пару

$$\alpha_2 = \alpha_{\text{н}} c_{\alpha}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}$$

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи излучением - определяется по номограмме на рис. 6.8 Л-1 по средним значениям скорости, давления и температуры пара пароперегревателя (в зависимости от расположения труб – шахматное или коридорное)

4.5.14 Коэффициент загрязнения ε , $\text{м}^2 \cdot \text{к/Вт}$

– для пароперегревателей с коридорным и шахматным расположением труб при сжигании жидких топлив принимается $\varepsilon = 0,00257$

– для пароперегревателей с коридорным расположением труб при сжигании твердых топлив принимается $\varepsilon = 0,0043$

4.5.15 Вычислить температуру стенки труб пароперегревателя, принимаемую равной при сжигании твердого и жидкого топлива температуре наружного слоя золовых отложений на трубах

4.8 Расчет воздушного подогревателя.

4.8.1 Из уравнений теплового баланса воздухоподогревателя проверяем температуру горячего воздуха на выходе из подогревателя:

$$\phi B(I_2 + I_{\text{в}} - I_{\text{yx}}) = V_{\text{д}} C_{\text{в}}(t_{\text{гв}} - t_{\text{в}}), \text{ кДж/кг}$$

$V_{\text{д}} = \alpha_{\text{вп}} \cdot V^{\circ}$, $\text{м}^3/\text{кг} (\text{м}^3/\text{м}^3)$ – действительный объем воздуха, подаваемый в топку.

$t_{\text{гв}}$ – температура воздуха на выходе из воздухоподогревателя;

$t_{\text{в}}$ – температура воздуха на входе в воздухоподогреватель:

маловлажное топливо - $t_{\text{в}} = 30^{\circ}\text{C}$

влажное топливо - $t_{\text{в}} = 40 \div 50^{\circ}\text{C}$

многовлажное топливо - $t_{\text{в}} = 50 \div 65^{\circ}\text{C}$

$I_{\text{в}} = C_{\text{в}}(\alpha_{\text{вп}} - \alpha) V^{\circ} t_{\text{хв}}$ – тепло, внесенное в газоход с присасываемым воздухом

I_2, I_{yx} – энтальпия продуктов сгорания - определяется по температурам на выходе и входе по табл.3.5 или по $I - \theta$ диаграмме.

$C_{\text{в}} = 1,34$ – теплоемкость.

Если полученная искомая $t_{\text{гв}}$ будет отличаться от заданной более чем на 100°C , то следует сделать перерасчет.

4.8.2 Поверхность нагрева воздухоподогревателя.

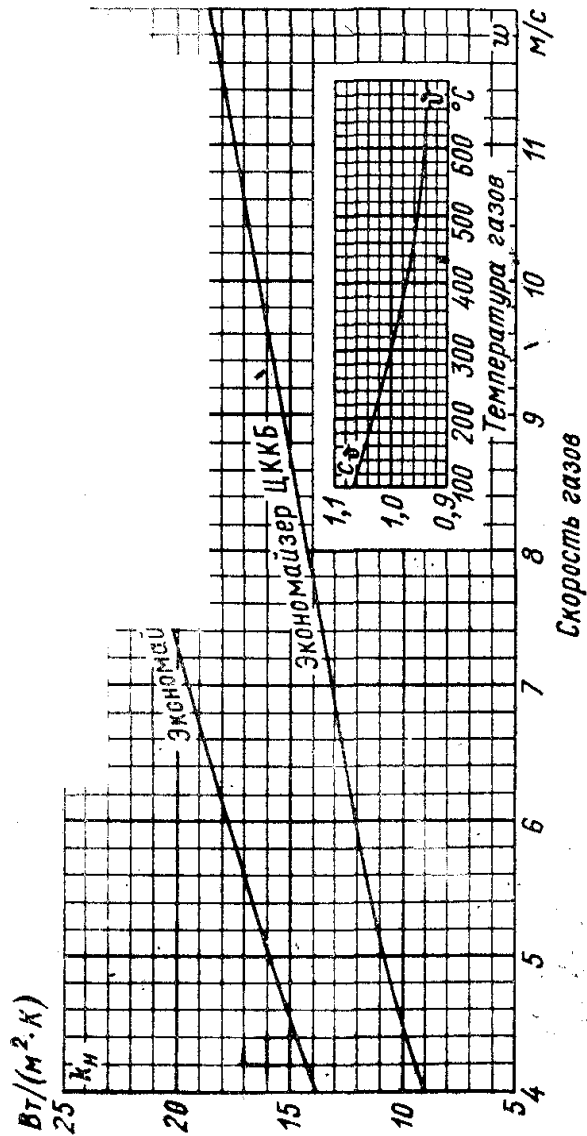
$$H_{\text{вп}} = \frac{BV_{\text{д}} C_{\text{в}}(t_{\text{гв}} - t_{\text{в}})10^3}{K_{\text{вп}} \cdot \Delta t_{\text{вп}}}, \text{ м}^2$$

Коэффициент теплопередачи для воздухоподогревателя можно принять

$$K_{\text{вп}} = 18 \div 25, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

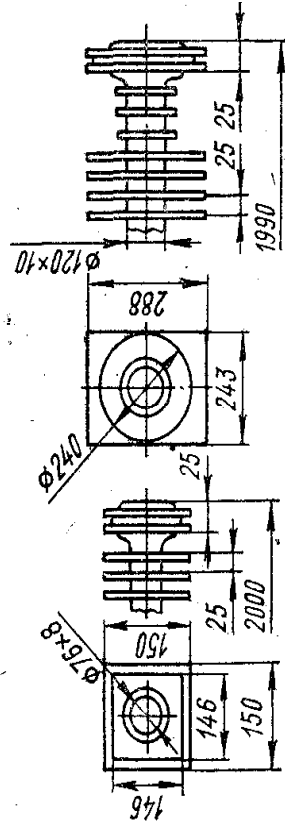
Средняя температура в воздухоподогревателе:

$$\Delta t_{\text{вп}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} \text{ } ^\circ\text{C} + \Delta t_{\text{м}} \cdot \text{C}}{2}$$



Экономайзер ЦККБ

Экономайзер ВТИ



$$t_3 = t_{\text{мп}}^{\text{cp}} + (\varepsilon + \frac{1}{a_2}) \cdot \frac{B_p \cdot Q_6}{H}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $t_{\text{мп}}^{\text{cp}}$ – среднеарифметическое значение температуры пара

$$t_{\text{мп}}^{\text{cp}} = \frac{t_{\text{нас}} + t_{\text{мп}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

H – поверхность нагрева, ей предварительно задаются из характеристик котла (по табл.8.13÷8.25 Л-3), m^2

- при сжигании газообразного топлива $t_3 = t_{\text{мп}}^{\text{cp}} 25, \text{ } ^\circ\text{C}$

4.5.16 Эффективная толщина излучающего слоя

$$S = 0,9 \cdot \left(\frac{4}{p} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{d_n^2} - 1 \right), \text{ м}$$

Где S_1 и S_2 – продольный и поперечный шаги труб в пучке, м (из характеристики котла)

4.5.17 Суммарная поглощательная способность газа $\chi_n \cdot S$, где χ_n – общая объемная доля трехатомных газов и водяных паров (из табл 1 расчета)

4.5.18 Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами определяется по номограмме (рис 5.4 Л-1) - κ_r

4.5.19 Коэффициент теплоотдачи излучением:

- для запыленного потока (при сжигании твердых топлив) $\alpha_n = \alpha_n \cdot a$

- для незапыленного потока (при сжигании жидкого и газообразного топлива)

$$\alpha_n = \alpha_n \cdot c_r \cdot a$$

α_n – коэффициент теплоотдачи излучением, определяется из номограммы (рис. 6.4 Л-1)

c_r – поправка, вводимая при отсутствии золовых частиц в продуктах сгорания;

a – степень черноты продуктов сгорания (рис. 5.6 Л-1)

4.5.20 Коэффициент использования ξ (для поперечно омываемых пучков труб конвективных пароперегревателей, принимается $\xi = 1$)

4.5.21 Коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к стенке труб пароперегревателя

$$\alpha_1 = \xi (\alpha_k + \alpha_n), \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}$$

4.5.22 Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{j \cdot a_1}{1 + \frac{a_1}{a_2}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{к}$$

где ϕ – коэффициент тепловой эффективности:

- при коридорном расположении труб и сжигании твердых топлив определяется из таблицы 6.1 Л-1

- при сжигании газа принимается $\phi = 0,85$

- при сжигании мазута с $\alpha_r > 1,03$ ϕ определяется из таблицы 6.2 Л-1

4.5.23 Средний температурный напор

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2.31 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $\Delta t_6 = \theta'_{пп} - t_{пп}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \Delta t_m = \theta''_{пп} - t_{нас}, \text{ } ^\circ\text{C};$

если $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} \leq 1,7$, то $\Delta t = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$

4.5.24 Определяется количество теплоты, воспринятое пароперегревателем

$$Q_t = \frac{\kappa H \Delta t}{B_p \cdot 10^3}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}$$

4.5.25 Невязка: $\frac{Q_6 - Q_t}{Q_6} \cdot 100 \leq 2\%$

4.5.26 Поверхность нагрева 1 погонного метра трубы: $h = \pi d_n, \text{ м}$

4.5.27 Общая длина труб пароперегревателя $l = \frac{H}{h}, \text{ м}$

4.5.28 Длина одного змеевика $l_{зм} = \frac{l}{z_1}$

4.5.29 Число труб в одном змеевике $z_2 = \frac{l_{зм}}{B}$, шт или число петель $\frac{z_2}{2}$, шт

где B – высота газохода пароперегревателя, м

4.6 Расчет конвективных поверхностей нагрева

Цель: определить температуру газов на выходе из первого и второго котельных пучков и водяного экономайзера.

1. Определяем конвективную поверхность нагрева для первого котельного пучка. Для этого необходимо решить два уравнения теплопередачи относительно двух температур, характерных для первого котельного пучка.

$$\phi B (I_q - I_1 + I_6) = K_1 H_1 \Delta t_1 \cdot 10^{-3}, \text{ кВт (кДж/с)}$$

$$\phi B (I_q - I_1 + I_6) = K_1 H_1 \Delta t_1 \cdot 10^{-3}, \text{ кВт (кДж/с)}$$

ϕ – коэффициент сохранения тепла

$$\phi = 1 - \frac{q_5}{100}$$

B – расход топлива на котел, кг/с ($\text{м}^3/\text{с}$)

H_1 – поверхность нагрева котельного пучка

$$H_{1к.п.} = H_k \cdot \frac{2}{3}, \text{ м}^2$$

Если $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} \leq 1,7$, то $\Delta t_{в.э.} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2}$,

Δt_6 и Δt_m – большая и меньшая разности температур продуктов сгорания и температуры нагреваемой среды, $^\circ\text{C}$

$\kappa_{в.э.}$ – коэффициент теплопередачи водяного экономайзера.

а) Для стальных водяных экономайзеров

$$\kappa_{в.э.} = \frac{a_{п.} + w a_{к.}}{1 + x(a_{л.} + w a_{к.})}, \text{ [Вт/м}^2\text{град]}$$

Определяется по номограмме как для конвективной поверхности.

б) Для чугунных водяных экономайзеров $\kappa_{в.э.}$ определяется по номограмме (см приложение № 6 или Л12 – стр 276)

$$\kappa_{в.э.} = \kappa_{н.} \cdot c_{v.}$$

$\kappa_{н.}$, $c_{v.}$ – по номограмме (см приложение № 6 или Л12 – стр 276)

Скорость продуктов сгорания $w_{в.э.} = 6-12 \text{ м/с}$

Определяем живое сечение для продуктов сгорания для водяного экономайзера

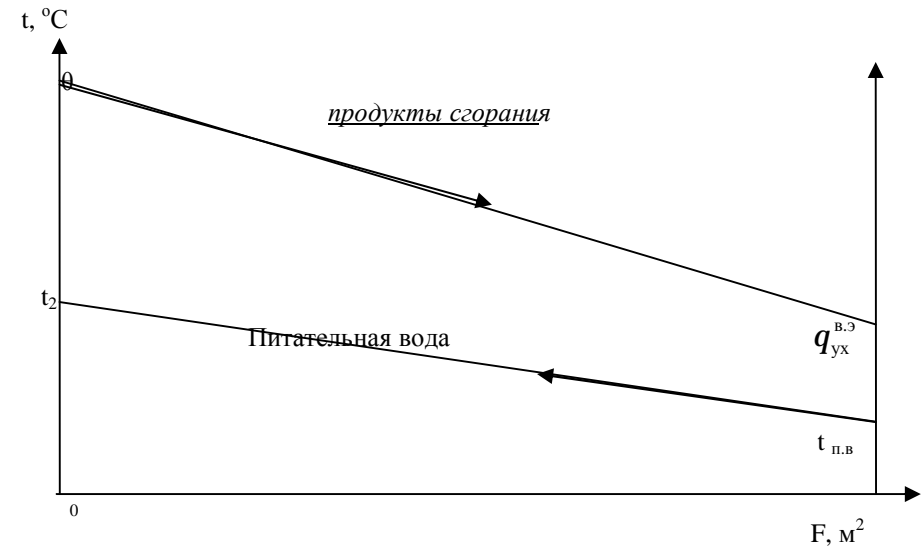
$$f_{жс} = \frac{B \cdot V_{г.} (273 + q'_{сп.})}{w_{в.э.} \cdot 273}, \text{ [м}^2\text{]} \quad \theta'_{сп.} = \frac{q_{к.п.} + q_{ух}^{в.э.}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

По найденным значениям $\kappa_{в.э.}$ и $f_{жс}$ выбираем марку водяного экономайзера и выписываем его характеристику.

Экономический эффект от установки водяного экономайзера:

$$q'_{эк} = \frac{D}{B} (h_2 - h_{п.в.}), \text{ кДж/кг}$$

$$q_{эк} = \frac{q'_{эк.в.}}{Q_{п.}} \cdot 100, \%$$



4.7. Расчет водяного экономайзера

$d_{пр}$ - величина непрерывной продувки, %
 $t_{ух}^{э.к.г}$ - температура уходящих газов из водяного экономайзера, °С
 $t_{п.в.}$ - температура питательной воды на входе в экономайзер, °С

φ - коэффициент сохранения тепла, $\varphi = 1 - \frac{q_5}{100}$

$\alpha_{в.э.}$ - коэффициент избытка воздуха водяного экономайзера
 $\alpha_{кп.}$ - коэффициент избытка воздуха котельного пучка
 $C_{в.}$ - теплоемкость воздуха,
 V^0 - теоретический объем воздуха
 $t_{х.в.}$ - температура холодного воздуха
 P - Рабочее давление в котле

4.7.1 Определяем энтальпию питательной воды на выходе из экономайзера из уравнения теплового баланса.

$$D(1 + d_{пр})(h_2 - h_{п.в.}) = \varphi B(I_2 + I_{в.} - I_{ух.}) \text{ [кВт]}$$

$$\text{Откуда } h_2 = \frac{j B(I_2 + I_{в.} - I_{ух.})}{D(1 + d_{пр})} + h_{п.в.} \text{ [кДж/кг]}$$

I_2 - энтальпия продуктов горения, кДж/кг определяется по табл. 2 расчета или по $I - \theta$ диаграмме, зная температуру продуктов сгорания на выходе из газохода перед водяным экономайзером.

4.7.2 Зная h_2 по термодинамическим таблицам воды и водяного пара находим t_2 - температуру воды на выходе из экономайзера.

Если $t_{п.в.}$ из водяного экономайзера будет на 20 – 50°С меньше $t_{нас}$ в котле, то экономайзер принимаю некипящий.

Если $t_{п.в.}$ из водяного экономайзера выше t кипения в барабане котла, следует принять кипящий водяной экономайзер.

$$I_{в.} = C_{в.} (\alpha_{в.э.} - \alpha) \cdot V^0 t_{х.в.} \text{ (кДж/кг)},$$

α - коэффициент избытка воздуха в газоходе перед водяным экономайзером

D - Паропроизводительность, т/ч; кг/с

$I_{ух.}$ - энтальпия уходящих продуктов сгорания, кДж/кг

$$t_{нас} - t_{п.в.} = ?$$

Определяем поверхность нагрева водяного экономайзера:

$$H_{вэ} = \frac{D(1 + d_{пр}) \cdot 10^3}{K_{в.э.} \cdot \Delta t_{вэ}} \text{ , м}^2$$

4.7.3 Определяем температурный напор.

Строим график изменения температуры по поверхности теплообмена водяного экономайзера.

$t_{п.с.}$ на входе берется из расчета последнего котельного пучка

где H_k – площадь поверхности нагрева в конвективной поверхности, берем из технической характеристики котла

I_6 – количество тепла, внесенное в газоход с присасываемым воздухом

$$I_6 = C_{в.} (\alpha_1 - \alpha) V^0 t_{х6}$$

$C_{в.}$ – теплоемкость воздуха, $C_{в.} = 1,3$ кДж/м²·град

$t_{х6} - 25-30$ °С

α – коэффициент избытка воздуха перед конвективной поверхностью (котельным пучком)

α_1 – коэффициент избытка воздуха в первом котельном пучке

I_1 и I'_1 – энтальпии продуктов сгорания, соответствующие заданным температурам в первом котельном пучке (см курсовой проект-раздел «Расчет энтальпии продуктов сгорания»)

I_0 – энтальпия продуктов сгорания перед котельным пучком, определяю методом интерполяции

$$I_0 = \frac{I_6 - I_M}{100} \cdot (t_0 - t_M) + I_M \text{ , кДж/кг}$$

Где t_0 - действительная температура продуктов сгорания – получена путем расчетов на выходе из топочной камеры.

Δt – среднелогарифмическая разность температур подсчитывается дважды относительно заданных температур t_1 и t'_1 и подставляется в уравнение

$$\Delta t_1 = \frac{\theta'_m - \theta_1}{2,3 \lg \frac{\theta'_m - t_{нас}}{\theta_1 - t_{нас}}} \text{ , } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t'_1 = \frac{\theta'_m - \theta_1}{2,3 \lg \frac{\theta'_m - t_{нас}}{\theta'_1 - t_{нас}}} \text{ , } ^\circ\text{C}$$

где θ'_m – действительная температура продуктов сгорания на выходе из топочной камеры, °С

θ_1 – начальная температура в первом котельном пучке, °С

θ'_1 – конечная температура в первом котельном пучке, °С

$t_{нас}$ – температура насыщения при определенном давлении.

K – коэффициент теплопередачи подсчитывается дважды K_1 и K'_1

$$K = \frac{\alpha_{л1} + \omega_1 \alpha_{к1}}{1 + \zeta(\alpha_{л1} + \omega_1 \alpha_{к1})} \text{ , Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

$$K' = \frac{\alpha'_{л1} + \omega_2 \alpha_{к1}}{1 + \zeta(\alpha'_{л1} + \omega_2 \alpha_{к1})} \text{ , Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

ω – коэффициент, учитывающий неполноту омывания нагрева, $\omega = \omega_1 = \omega_2 = 0,95$

ζ – коэффициент загрязнения поверхности нагрева, $\zeta = 0,02$, м²·град/Вт

$\alpha_{л}$ – коэффициент теплопередачи излучением

$\alpha_{л1} = \alpha_{н1} \cdot a$, Вт/м²·град } запыленный

$\alpha'_{л1} = \alpha_{н2} \cdot a$, Вт/м²·град } поток (тв. топливо мазут)

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{n1} &= \alpha_{n1} \cdot a \cdot c_r, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град} \\ \alpha'_{n1} &= \alpha_{n2} \cdot a \cdot c_r, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{незапыленный} \\ \text{поток (для газа)} \end{array}$$

a – степень черноты газового потока,

α_n – коэффициент теплоотдачи – определяем по средним температурам.

Определяем средние температуры:

$$\theta_{cp1} = \frac{\theta'_m + \theta_1}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{cp2} = \frac{\theta'_m + \theta_2}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определяем температуру стенки трубы конвективной поверхности

$$t_{ct} = t_{нас} + \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\Delta t = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$ – при сжигании твердого топлива.

$t_{нас}$ – температура насыщения, $^\circ\text{C}$

По номограмме (приложение 1) находим α_{n1} и α_{n2}

Определяем степень черноты газового потока. При этом необходимо вычислить суммарную оптическую величину.

$$k_p S = (k_r r_n + k_{зл} \mu) P S$$

k_r – коэффициент ослабления лучей трехатомными газами – находим по номограмме (Приложение 2)

$$P_n S = (r_{H_2O} + r_{RO_2}) S,$$

где S – толщина излучающего слоя, м

$$S = 0,9 d_n \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{d_n^2} - 1 \right), \text{ м}$$

Где S_1 и S_2 – поперечный и продольный шаг труб – берем из описания котла.

d_n – наружный диаметр трубы конвективной поверхности – из описания котла.

μ – концентрация золовых частиц в продуктах сгорания (см. Курсовой проект, раздел «Расчет продуктов сгорания»)

$k_{зл}$ – коэффициент ослабления лучей золовыми частицами. При сжигании твердого топлива в слоевых топках $k_{зл} = 0$

r_{H_2O} – объемная доля водяных паров в продуктах сгорания (см. Курсовой проект, табл.1)

r_{RO_2} – объемная доля трехатомных газов в продуктах сгорания (см. Курсовой проект, табл.1)

$P = 1$ мПа; P_n – суммарная объемная доля

Определяем a – степень черноты газового потока – по номограмме (Приложение 3)

Определяем коэффициент теплоотдачи излучением α_{n1} и α'_{n1}

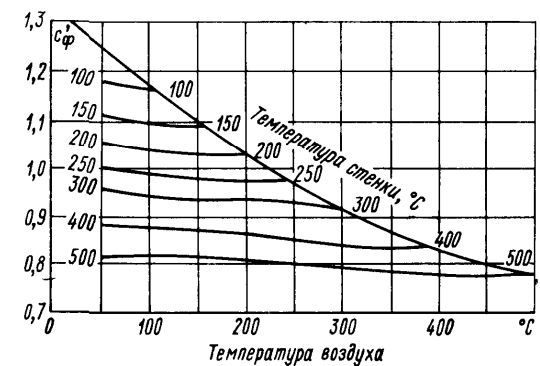
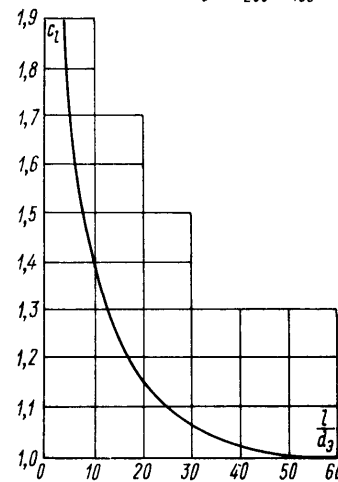
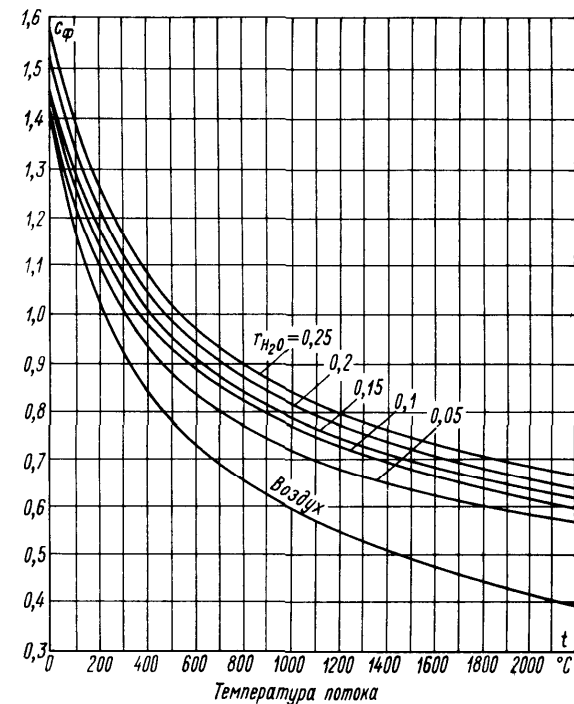
Определяем коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных, шахматных пучков.

$$\alpha_{k1} = \alpha_{n1} c_{z1} c_{s1} c_{\phi 1}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

$$\alpha'_{k1} = \alpha'_{n1} c'_{z1} c'_{s1} c'_{\phi 1}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

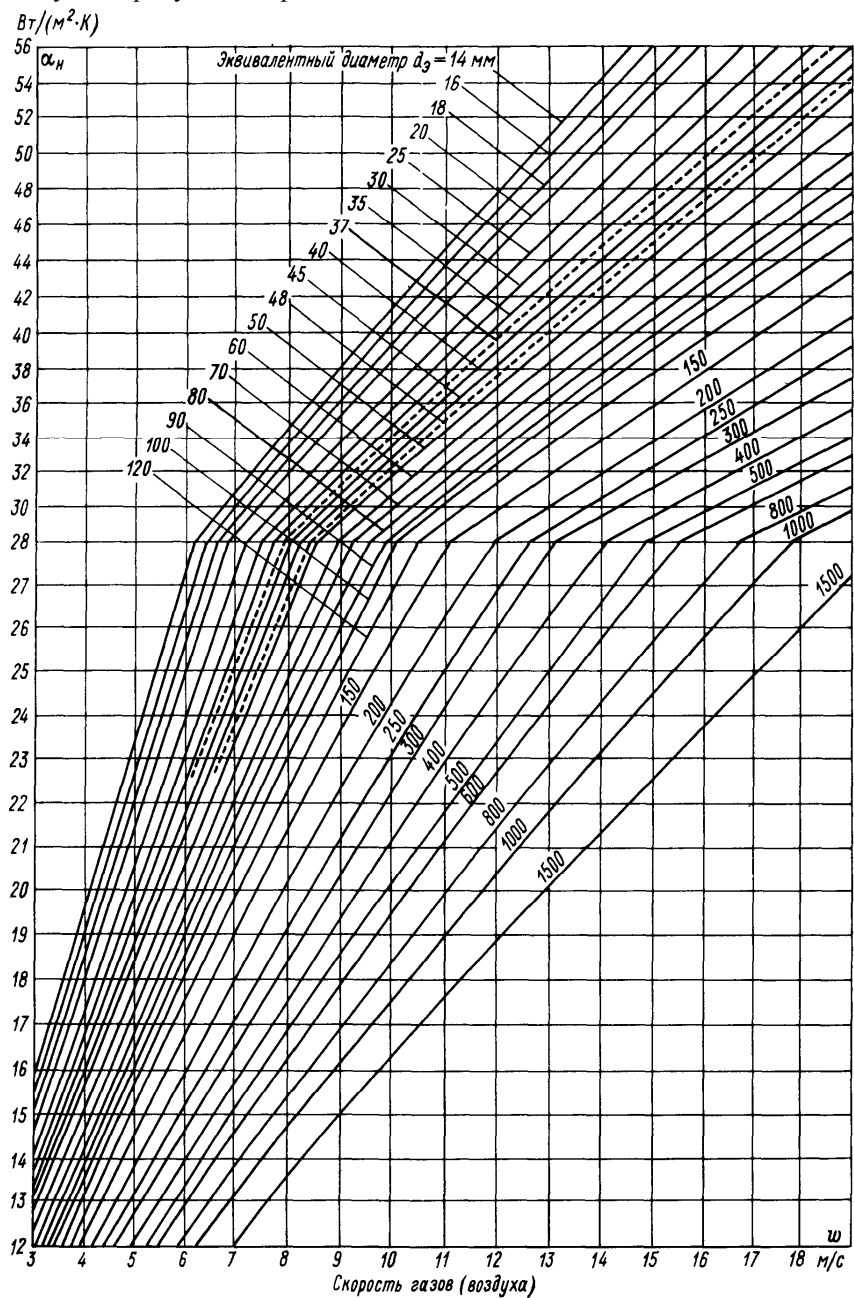
где c_z – поправка на число рядов труб по ходу продуктов сгорания – находим по номограмме (Приложение 4 или 4а или 5)

Число рядов труб определяем из характеристик котла.



При охлаждении продуктов сгорания и воздуха $\alpha_K = c_{\phi} c_i \alpha_n$, Вт/(м²·К); при нагревании воздуха $\alpha_K = c'_{\phi} c_i \alpha_n$, Вт/(м²·К)

Приложение 5 Коэффициент теплоотдачи конвекции при продольном омывании для воздуха и продуктов сгорания



c_s – поправка на компоновку пучка – находим по номограмме (Приложение 4 или 4а или 5) Для этого определяем σ_1 и σ_2

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d_n}$$

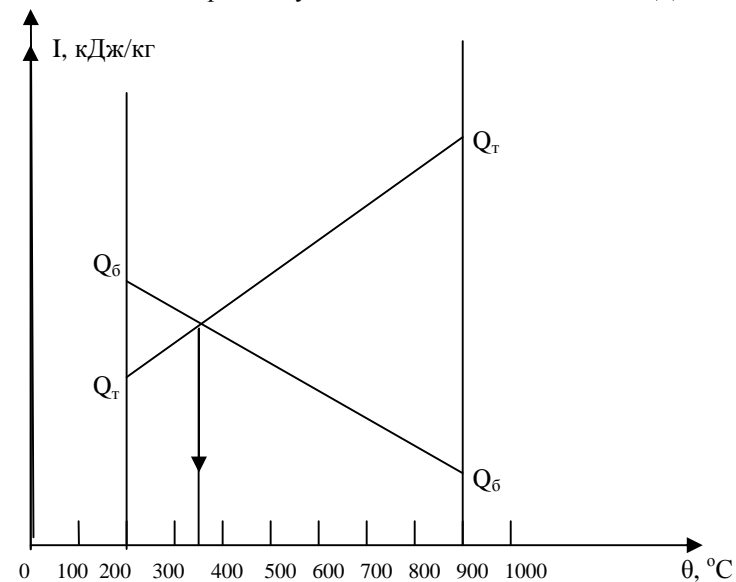
$$\sigma_2 = \frac{S_2}{d_n}$$

Где S_1 и S_2 – поперечный и продольный шаг труб – берем из описания котла.
 d_n – наружный диаметр трубы конвективной поверхности – из описания котла.
 c_ϕ – коэффициент, учитывающий влияние изменения физических параметров потока – находим по номограмме (Приложение 4 или 4а или 5)
 α_n – коэффициент теплоотдачи – находим по номограмме (Приложение 4 или 4а или 5)

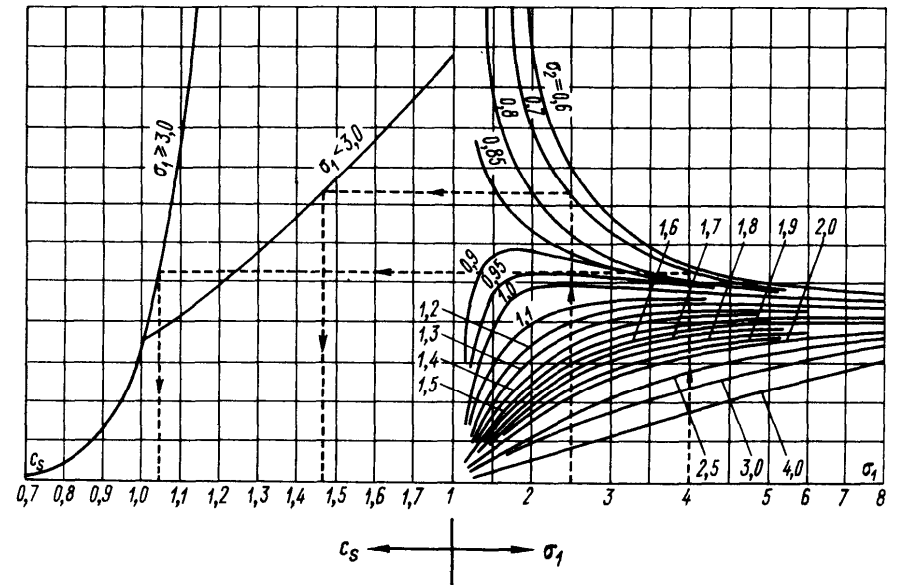
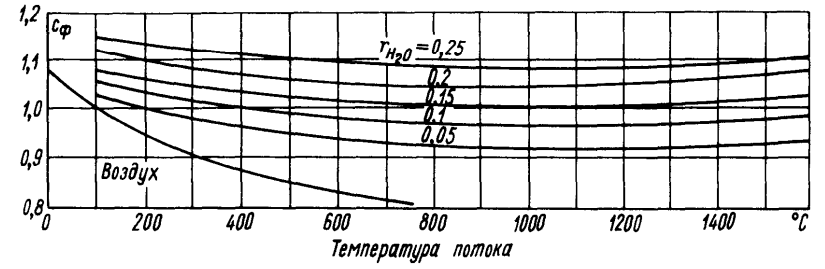
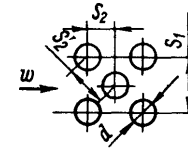
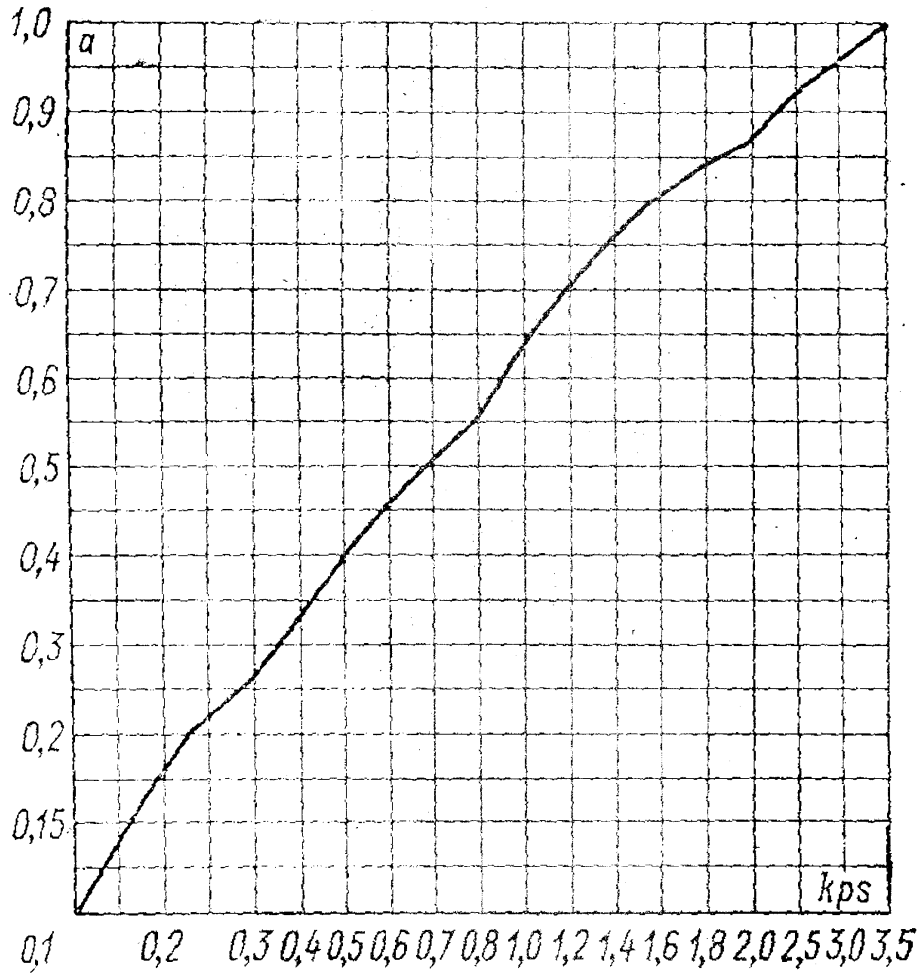
$$W_1 = \frac{B \cdot V_r (\theta_{ср1}) + 273}{F \cdot 273}, \text{ м/с}$$

$$W'_1 = \frac{B \cdot V_r (\theta'_{ср1}) + 273}{F \cdot 273}, \text{ м/с}$$

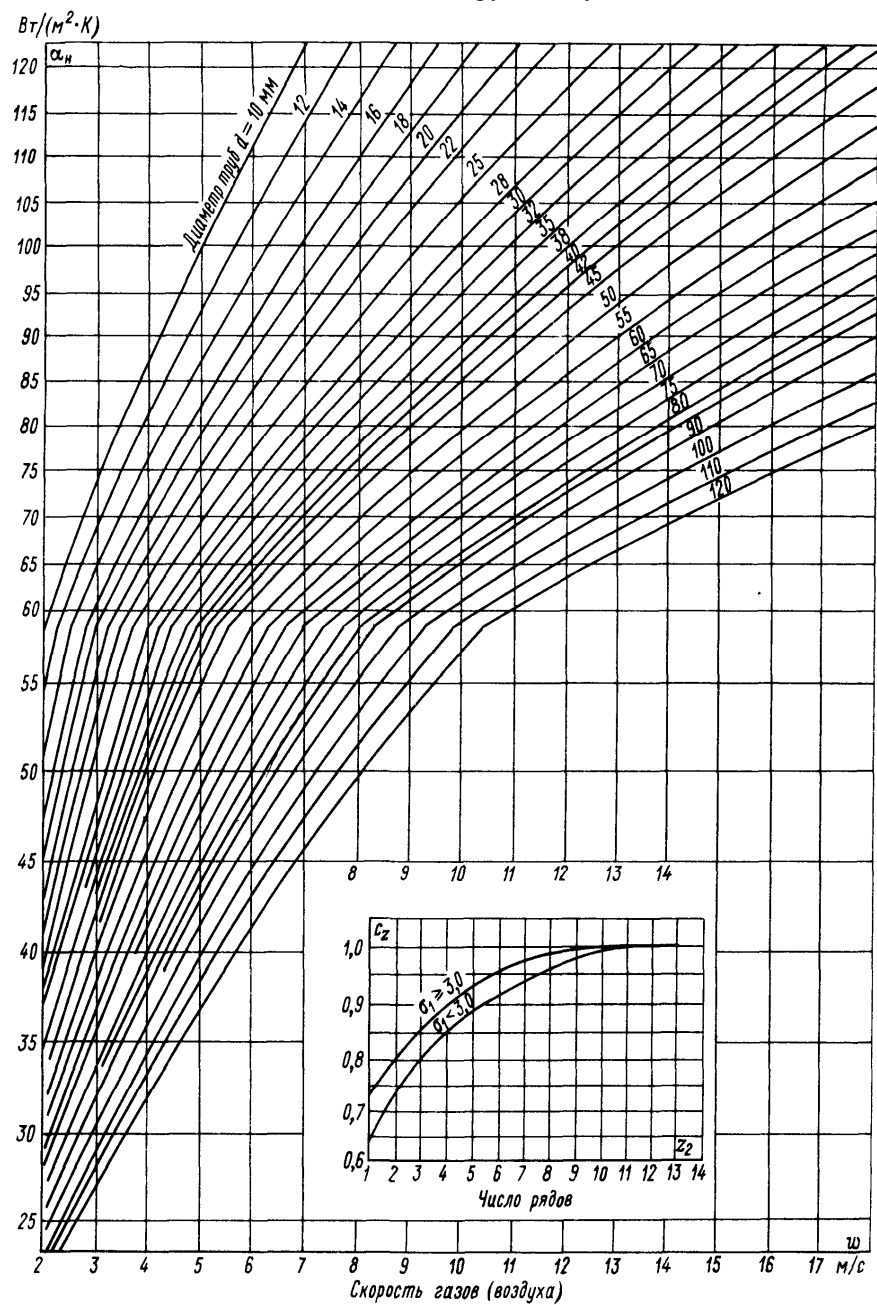
F – живое сечение для прохода продуктов сгорания газохода – берем из характеристик котла
 V_r – действительный суммарный объем продуктов сгорания в первом котельном пучке (см. табл. 1 Курсового проекта)
 $\theta_{ср1}$ и $\theta'_{ср1}$ – средние расчетные температуры, °C
 B – расход топлива на котел, кг/с
 Решаем 2 уравнения теплопередачи (см. ранее) и сравниваем правую и левую стороны. Затем строим «График определения температуры за первым котельным пучком» на миллиметровой бумаге, масштаб: в 1 см 1 – 100кДж/кг; θ - 50 °C



Приложение 3 Степень черноты продуктов сгорания α в зависимости от суммарной оптической толщины среды



Приложение 4а Коэффициент теплоотдачи конвекции при поперечном омывании шахматных гладкотрубных пучков



Приложение 1 Коэффициент теплоотдачи излучением $B_T/(M^2 \cdot K)$

