Министерство Образования Российской Федерации

## Ивановский Государственный Энергетический Университет

Кафедра ТЭС

Курсовой проект

тема: Паровые котлы

### Иваново 2003

**Введение**

**Парогенератор ГМ-50-1.**

Топочная камера обьемом 144 м  полностью экранирована трубами 60×3мм, расположенными с шагом 70 мм. Трубы фронтового и заднего экранов образуют под топки. Экраны разделены на восемь самостоятельных циркуляционных контуров.

На боковых стенах топочной камеры размещены по три основные газомазутные горелки, с фронта – две дополнительные. В барабане находится чистый отсек первой ступени испарения с внутрибарабанными циклонами. Вторая ступень вынесена в выносные циклоны Ø 377 мм.

Пароперегреватель – конвективный, горизонтального типа, змеевиковый, двухступенчатый, с шахматным расположением труб ∅ 32×3 мм и поперечным шагом 75 мм. Экономайзер – стальной, гладкотрубный, змеевиковый, кипящего типа, двухблочный, с шахматным расположением труб ∅ 28×3 мм. Продольный шаг – 50 мм, поперечный – 70 мм. Воздухоподогреватель - стальной, трубчатый, одноступенчатый, трехходовый, с шахматным расположением труб 40×1,5мм. Поперечный шаг труб - 60 мм, продольный – 42 мм. Технические и основные конструктивные характеристики парогенератора приведены в аннотации.

**Аннотация**

В данном курсовом проекте производится расчет парогенератора ГМ-50-1, исходя из следующих данных:

1. Тип котла ***ГМ-50-1\_***

2. Номинальная паропроизводительность ДК = ***50*** т/ч

3. Рабочее давление в барабане котла РК = ***45*** кгс/см2

4. Рабочее давление на выходе из пароперегревателя РПЕ = ***40*** кгс/см2

5. Температура перегретого пара tПЕ = ***440*** °С

6. Температура питательной воды tПВ = ***140*** °С

7. Температура уходящих газов tУХ = ***150*** °С

8. Температура горячего воздуха tГВ = ***220*** °С

9. Вид и марка топлива ***мазут м/с (№ 96)***

10. Тип топочного устройства: камерная.

В результате произведенного расчета в конструкцию парового котла внесены следующие изменения:

В пароперегревателе добавлены две петли.

Расчётная поверхность пароперегревателя – 296,26 м.

В экономайзере убрана одна петля во втором пакете.

Расчётная поверхность экономайзера – 412,65 м.

Высота газохода для размещения экономайзера – 2,425 м.

Расчётная поверхность ВЗП - 1862,88 м.

Число ходов по воздуху n = 3.

Высота хода по воздуху h = 2,161 м.

**Последовательность пуска котла**

1. Внешний осмотр (исправность горелок, вентиляторов, дымососов; топка, газоходы, арматура (запорная, регулирующая); КИП; автоматика, подвод напряжения ).
2. Открывают воздушники, линию рециркуляции ЭКО, линию продувки пароперегревателя, закрывают дренажи, клапан непрерывной продувки, главные паровые задвижки 1 и 2.
3. Котел заполняют деаэрированной водой с температурой 60-70 и контролируют разность температур



Время заполнения водой 1-1,5ч. Заполнение заканчивается, когда вода закрывает опускные трубы.

1. Включают дымосос и вентилируют топку и газоходы 10-15 мин.
2. Устанавливают разряжение



и включают мазутные растопочные форсунки

,

чтобы при отсутствии пара

1. При появлении пара из воздушников-2, их закрывают.
2. Растопочный пар, расхолаживая пароперегреватель, выводиться через линии продувки пароперегревателя.
3. Продувают воздухоуказательные колонки и экранную систему.
4. При открывают ГПЗ–1, закрывают линии продувки пароперегревателя, прогревают соединительный паропровод, выпуская пар через растопочный расширитель.
5. Периодически подпитывают барабан водой и контролируют уровень воды.
6. Увеличивают расход топлива до



При включают непрерывную продувку. При открывают растопочные РОУ, закрывают растопочный расширитель.

При  и увеличивают нагрузку до 40%, открывают ГПЗ-2 и включают котел в магистраль.

Переходят на основное топливо и увеличивают нагрузку до номинальной. Включают автоматику.

**Плановый останов котла**

1. Предупреждают турбинное отделение о снижении нагрузки
2. Плавно снижают нагрузку до 40%.
3. Прекращают подачу топлива и гасят топку.
4. Вентилируют топку и газоходы 15 мин.
5. Продувают трубную систему через дренажи. Через 8-14 часов продувку повторяют.
6. Продувку пара осуществляют сначала через растопочное РОУ, потом через растопочный расширитель, а затем через линию продувки парогенератора.

7. Переодически подпитывая котел, следят за уровнем, чтобы Tcт(верх) - Тст(ниж) < 40 оС.

8. Скорость расхолаживания < 0,3 (оС/мин)

9. При температуре воды tв =50 оС и Р = 1 атм открывают дренажи и котел опорожняют, после чего выводят в ремонт.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Элементы парового котла | Газоходы | Величина присоса α |
| Топочная камера | Топки паровых котлов для жидкого топлива | 0,05 |
| Котельные пучки | Фестон | 0 |
| Пароперегреватели | Первичный пароперегреватель | 0,03 |
| Экономайзеры | Для котлов D≤50т/ч | 0,08 |
| Воздухоподогреватели(трубчатые) | Для котлов D≤50т/ч | 0,06 |

Коэффициенты избытка воздуха за каждым газоходом, а также их средние значения:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Газоходы | Коэффициент избытка воздуха за газоходом α’’ | Величина  присоса Δα | Средний коэффициент избытка воздуха в газоходе α |
| 1 | Топка и фестон |  |  |  |
| 2 | Пароперегре-ватель | =1,13 |  |  |
| 3 | Экономайзер | =1,21 |  |  |
| 4 | Воздухоподо-греватели | +0,06=1,27 |  |  |

**2. Топливо и продукты горения**

Вид топлива: **Мазут малосернистый (№96)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Wp | Ap | Sp | Сp | Нp | Np | Op | Qp H |
| 3,0 | 0,05 | 0,3 | 84,65 | 11,7 | - | 0,3 | 9620 |

Объёмы воздуха и продуктов горения при α=1,0 и 760 мм.рт.ст.:

Расчитываем приведённую влажность WП и зольность АП

Для контроля проверим баланс элементарного состава:

CP+ HP+ SP+ NP+ OP+ AP+ WP=100%

84,65%+11,7%+0,3%+0,3%+0,05%+3,0%=100%

При α>1 объёмы продуктов горения, объёмные доли трёхатомных газов и водяных паров, безразмерную концентрацию золы, массу газов, их плотность расчитывают по всем газоходам для средних и конечных значений α.

Объёмы и массы продуктов горения, доли трёхатомных газов и водяных паров

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Величина | Единицы |  | АР=0,05% | | | |
| Газоходы | | | |
| Топка и фестон | Паропере-греватель | Экономай- зер | Воздухопо- догреватель |
| 1 | Коэф избытка воздуха за газоходом α’’ | - |  | 1,1 | 1,13 | 1,21 | 1,27 |
| 2 | Средний коэф избытка воздуха в газоходе α | - |  | 1,1 | 1,115 | 1,17 | 1,24 |
| 3 |  | м3/кг | за | 1,5271 | - | - | 1,5562 |
| ср | - | 1,5297 | 1,5391 | 1,5510 |
| 4 |  | м3/кг | за | 12,5591 | - | - | 14,3936 |
| ср | - | 12,7210 | 13,3145 | 14,0698 |
| 5 |  | -- | за | 0,1258 | - | - | 0,1098 |
| ср | - | 0,1242 | 0,1187 | 0,1123 |
| 6 |  | -- | за | 0,1216 | - | - | 0,1081 |
| ср | - | 0,1202 | 0,1156 | 0,1102 |
| 7 |  | -- | за | 0,2474 | - | - | 0,2179 |
| ср | - | 0,2445 | 0,2343 | 0,2225 |
| 8 |  | кг/кг | За | 16,2562 | - | - | 18,6140 |
| Ср | - | 16,4642 | 17,2271 | 18,1980 |
| 9 |  | кг/м3 | За | 1,2944 | - | - | 1,2932 |
| Ср | - | 1,2943 | 1,2939 | 1,2934 |

Энтальпию золы учитывают только в том случае, если приведённая зольность уноса золы из топки удовлетворяет условию (долю золы уносимую газами принимаем

аун=0,95=95%):





Энтальпии воздуха и продуктов горения по газоходам парового котла (ккал/кг)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| газоход | Тем-ра газов |  |  |  |  |  |
| Топка и фестон (при αт’’) | 2200 | 10218 | 8628 | 862,8 | 11080,80 | - |
| 2100 | 9701 | 8203 | 820,3 | 10521,30 | 559,50 |
| 2000 | 9187 | 7778 | 777,8 | 9964,80 | 556,50 |
| 1900 | 8676 | 7353 | 735,3 | 9411,30 | 553,50 |
| 1800 | 8168 | 6928 | 692,8 | 8860,80 | 550,50 |
| 1700 | 7665 | 6514 | 651,4 | 8316,40 | 544,40 |
| 1600 | 7163 | 6099 | 609,9 | 7772,90 | 543,50 |
| 1500 | 6664 | 5684 | 568,4 | 7232,40 | 540,50 |
| 1400 | 6170 | 5270 | 527 | 6697,00 | 535,40 |
| 1300 | 5679 | 4856 | 485,6 | 6164,60 | 532,40 |
| 1200 | 5193 | 4452 | 445,2 | 5638,20 | 526,40 |
| 1100 | 4719 | 4048 | 404,8 | 5123,80 | 514,40 |
| 1000 | 4248 | 3645 | 364,5 | 4612,50 | 511,30 |
| 900 | 3779 | 3252 | 325,2 | 4104,20 | 508,30 |
| Паропе-регреватель при αпе’’ | 700 | 2862 | 2486 | 323,18 | 3185,18 | - |
| 600 | 2421 | 2106 | 273,78 | 2694,78 | 490,40 |
| 500 | 1994 | 1736 | 225,68 | 2219,68 | 475,10 |
| 400 | 1573 | 1375 | 178,75 | 1751,75 | 467,93 |
| Эконо-майзер при αэк’’ | 500 | 1994 | 1736 | 364,56 | 2358,56 | - |
| 400 | 1573 | 1375 | 288,75 | 1861,75 | 496,81 |
| 300 | 1163 | 1022 | 214,62 | 1377,62 | 484,13 |
| Воздухо-ль при αвп’’=αух | 300 | 1163 | 1022 | 275,94 | 1438,94 | - |
| 200 | 766 | 676 | 182,52 | 948,52 | 490,42 |
| 100 | 379 | 336 | 90,72 | 469,72 | 478,80 |

**3. Определение расчётного расхода топлива**

**3.1 Располагаемое тепло топлива Qрр находим по формуле:**

Qрр=Qрн+Qв.вн+iтл

**3.2 Величину тепла, вносимого воздухом, подогреваемом вне парового котла, Qв.вн**

Учитывают только для высокосернистых мазутов. Топливо проектируемого котла - малосернистый мазут. где (Ioв)’ при t’вп =100 oC ⇒ (Ioв)’=322 ккал/кг;

**3.3 Величину физического тепла топлива находим по формуле:**

iтл= Cтл tтл, где tтл =100 oC; Cтл =0,415+0,0006⋅tтл=0,415+0,0006⋅100=0,475 ккал/(кг⋅ oC);

iтл= 0,475⋅100=47,5 ккал/кг;

Расход топлива используют при выборе и расчёте числа и мощности горелочных устройств. Тепловой расчёт парового котла, определение объёмов дымовых газов и воздуха, количество тепла, отданного продуктами горения поверхностям нагрева, производятся по расчётному расходу фактически сгоревшего топлива с учетом механической неполноты горения:

**4. Выбор схемы сжигания топлива**

Схему топливосжигания выбирают в зависимости от марки и качества топлива. Подготовка к сжиганию мазута заключается в удалении из него механических примесей, повышении давления и подогрева для уменьшения вязкости.

В проектируемом паровом котле установлены горелки (в количестве трёх штук) с механическими форсунками суммарной производительностью 110÷120% от паропроизводительности котла; мазут подогревают до 100÷130оС. Скорость воздуха в самом узком сечении амбразуры должна быть 30÷40 м/с.

**5. Поверочный расчёт топки**

Задачей поверочного расчёта является определение температуры газов на выходе из топки ϑт’’ при заданных конструктивных размерах топки, которые определяют по чертежам парового котла.

**5.1 Определение конструктивных размеров и характеристик топки**

По чертежу парового котла определяем размеры топки и заполняем таблицу

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование величин | Обозн. | Раз-ть | Источник или формула | Топочные экраны | | | | | Выход-ное окно |
| Фронтовой | | Боко-вой | Задний | |
| Осн.  часть | Под |  | Осн.  часть | Под |
| 1 | Расчётная ширина экранированной стенки | bст | м | чертёж или  эскиз | 5,0 | 5,0 | 3,5 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| 2 | Освещённая длина стен | lст | м | чертёж или  эскиз | 9,075 | 1,675 | - | 7,05 | 1,85 | 2,05 |
| 3 | Площадь стены | Fст | м2 | bст ·lст | 45,5 | 8,375 | 30,014 | 35,125 | 9,25 | 10,25 |
| 4 | Площадь стен, не занятых экранами | Fi | м2 | чертёж или  эскиз | - | - | 0,9202 | - | - | - |
| 5 | Наружный диаметр  труб | d | м | чертёж или  эскиз | 0,06 | | | | | |
| 6 | Число труб | Z | шт | −″− | 70 | 70 | 49 | 70 | 70 | - |
| 7 | Шаг труб | S | м | −″− | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | - |
| 8 | Отн. шаг труб | S/d | - | - | 1,1667 | | | | | |
| 9 | Расстояние от оси до обмуровки | е | м | −″− | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,065 | 0,065 | - |
| 10 | Относ. −″− | e/d | - | - | 1,667 | 1,667 | 1,667 | 1,0833 | 1,0833 | - |
| 11 | Угловой к-т экрана | X | - | номо-грамма | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,985 | 0,985 | 1 |
| 12 | К-т загрязнения | ξ | - | таблица | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| 13 | К-т тепловой эффективности экрана | ψ | - | Χ∙ξ | 0,5445 | 0,5445 | 0,5445 | 0,54175 | 0,54175 | 0,55 |

Среднее значение коэффициента тепловой эффективности для топки в целом определяют по формуле:



Активный объём топочной камеры определяют по формуле:

Эффективная толщина излучающего слоя:



**5.2 Расчёт теплообмена в топке**

Расчёт основан на приложении теории подобия к топочным процессам. Расчётная формула связывает температуру газов на выходе из топки θт’’ с критерием Больцмана Bo, степенью черноты топки ат и параметром М, учитывающим характер распределения температур по высоте топки и зависящим от относительного местоположения максимума температур пламени, который определяется схемой размещения и типом горелок.



При расчёте теплообмена используют в качестве исходной формулу:

Где Tт’’ = ϑт’’ + 273 - абсолютная температура газов на выходе из топки, [K]; Ta = ϑa + 273 -температура газов, которая была бы при адиабатическом сгорании топлива, [K]; Bо – критерий Больцмана, определяемый по формуле:

Из этих формул выводятся расчетные.

Определяем полезное тепловыделение в топке Qт и соответствующую ей адиабатическую температуру горения Та :



Коэффициент ослабления лучей kг топочной средой определяют по номограмме.

Коэффициент ослабления лучей kс сажистыми частицами определяют по формуле:

**6. Поверочный расчёт фестона**

В котле, разрабатываемом в курсовом проекте, на выходе из топки расположен трёхрядный испарительный пучок, образованный трубами бокового топочного экрана, с увеличенным поперечными и продольными шагами и называемый фестон. Изменение конструкции фестона связано с большими трудностями и капитальными затратами, поэтому проводим поверочный расчёт фестона. Задачей поверочного расчёта является определение температуры газов за фестоном ϑф’’ при заданных конструктивных размерах и характеристиках поверхности нагрева, а также известной температуре газов перед фестоном, т.е на выходе из топки.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | Обозн. | Раз-ть | Ряды фестона | | | Для всего фестона |
| 1 | 2 | 3 |
| Наружный диаметр труб | d | м | 0,06 | | | |
| Количество труб в ряду | z1 | -- | 23 | 23 | 24 | - |
| Длина трубы в ряду | lI | м | 2,3 | 2 | 1,275 | - |
| Шаг труб: поперечный | S1 | м | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| продольный | S2 | м | - | 0,35 | 0,775 | 0,5197 |
| Угловой коэф фестона | xф | - | - | - | - | 1 |
| Расположение труб | - | - | шахматное | | | |
| Расчётная пов-ть нагрева | H | м2 | 9,966 | 8,666 | 5,765 | 24,3977 |
| Размеры газохода:  высота | aI | м | 2,25 | 2,05 | 1,275 | - |
| ширина | b | м | 5 | 5 | 5 | - |
| Площадь живого сечения | F | м2 | 8,283 | 7,611 | 4,539 | 6,7646 |
| Относительный шаг труб:  поперечный | S1/d | - | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| продольный | S2/d | - | - | 5,833 | 12,92 | 8,6616 |

Длину трубы в каждом ряду li определяем по осевой линии трубы с учётом её конфигурации от плоскости входа трубы в обмуровку топки или изоляцию барабана до точки перечения оси трубы каждого ряда с плоскостью ската горизонтального газохода. Количество труб в ряду z1 определяют по эскизу, выполнив по всей ширине газохода разводку труб экрана в фестон.

Поперечный шаг S1 равен утроенному шагу заднего экрана топки, т.к. этот экран образует три ряда фестона. Поперечные шаги для всех рядов и всего фестона одинаковы. Продольный шаг между первым и вторым рядами определяют как кратчайшее расстояние между осями труб этих рядов S2’, а между вторым и третьим рядами S2’’ как длину отрезка между осями труб второго и третьего рядов, соединяющего их на половине длины труб. Среднее значение продольного шага для фестона определяют с учетом расчетных поверхностей второго и третьего рядов труб, существенно различающихся по величине:

Принимаем xф = 1, тем самым увеличиваем конвективную поверхность пароперегревателя (в пределах 5%), что существенно упрощает расчёт.

По S1ср и S2ср определяем эффективную толщину излучающего слоя фестона Sф расположение труб в пучке – шахматное, омывание газами – поперечное (угол отклонения потока от нормали не учитываем). Высоту газохода ‘а’ определяют в плоскости, проходящей по осям основного направления каждого ряда труб в границах фестона. Ширина газохода ‘b’ одинакова для всех рядов фестона, её определяют как расстояние между плоскостями, проходящими через оси труб правого и левого боковых экранов.

Площадь живого сечения для прохода газов в каждом ряду:

Fi = ai⋅b - z1⋅ liпр⋅d; где liпр – длина проекции трубы на плоскость сечения, проходящую через ось труб расчитываемого ряда.

Fср находим как среднее арифметическое между F1 и F3.

Расчётная поверхность нагрева каждого ряда равна геометрической поверхности всех труб в ряду по наружному диаметру и полной обогреваемой газами длине трубы, измеренной по её оси с учётом конфигурации, т.е гибов в пределах фестона:

Нi = π⋅d⋅z1i⋅ li; где z1i – число труб в ряду; li – длина трубы в ряду по её оси. Расчётная поверхность нагрева фестона определяют как сумму поверхностей всех рядов:

Нф = Н1 + Н2 + Н3 = 9,966+8,666+5,765 = 24,3977 м;

На правой и левой стене газохода фестона расположена часть боковых экранов, поверхность которых не превышает 5% от поверхности фестона:

Ндоп = ΣFст·xб = (1,7062 + 1,7062)·0,99 = 3,3782 ⇒ Нф’ = Нф + Ндоп = 27,776 м;

Составляем таблицу исходных данных для поверочного теплового расчёта фестона.

Ориентировочно принимают температуру газов за фестоном на 30÷1000С ниже, чем перед ним:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | Обозначение | Размерность | Величина |
| Температура газов перед фестоном | ϑф’=ϑт’’ | 0С | 1053,4 |
| Энтальпия газов перед фестоном | I ф’=I т’’ | ккал/кг | 4885,534 |
| Объёмы газов на выходе из топки при α′′т | Vг | м3/кг | 12,559 |
| Объёмная доля водяных паров | rH2O | -- | 0,1216 |
| Объёмная доля трёхатомных газов | rRO2 | -- | 0,2474 |
| Температура состояния насыщения  при давлении в барабане Рб=45кгс/см2 | tн | 0С | 256,23 |

**7. Определение тепловосприятий пароперегревателя, экономайзера, воздухоподогревателя и сведение теплового баланса парового котла**

При выполнении расчёта в целях уменьшения ошибок и связанных с ними пересчётов до проведения поверочно-конструкторских расчётов пароперегревателя целесообразно определить тепловосприятия этих поверхностей по уравнениям теплового баланса и свести тепловой баланс по паровому котлу в целом.

Тепловосприятия пароперегревателя и воздухоподогревателя определяют по уравнениям теплового баланса рабочего тела (пара, воздуха), а тепловосприятие экономайзера – по уравнению теплового баланса теплоносителя (продуктов сгорания).



Тепловосприятие пароперегревателя определяют по формуле:

Находим при Pпе=40 кгс/см2 и tпе=440oC ⇒ iпе=789,8 ккал/кг; при Pб=45 кгс/см2 и температуре насыщения ⇒ iн=668,1 ккал/кг; Δiпо=15 ккал/кг;



Тепло, воспринимаемое пароперегревателем за счёт излучения факела топки, принимаем для упрощения расчётов равным нулю(Qпел =0), а угловой коэффициент фестона Хф=1. В этом случае полное тепловосприятие пароперегревателя численно совпадает с тепловосприятием конвекцией: Qпек = Qпе.

Полученное значение энтальпии газов за пароперегревателем позволяет определить температуру дымовых газов за ним υ″пе=601,520С;

Тепловосприятие воздухоподогревателя определяют по уравнению теплового баланса рабочего тела (воздуха), т.к. температура горячего воздуха (после воздухоподогревателя) задана. Тепловосприятие воздухоподогревателя зависит от схемы подогрева воздуха. Т.к. предварительный подогрев воздуха, и рециркуляция горячего воздуха отсутствуют, то тепловосприятие воздухоподогревателя определяем:



где Iогв находим по tгв=220oC ⇒ Iогв=745,2 ккал/кг;

β″вп – отношение объёма воздуха за воздухоподогревателем к теоретически необходимому:



### Тепловосприятие воздухоподогревателя по теплоносителю (продуктам сгорания) имеет вид:



где Iух – энтальпия уходящих газов, которую находим по tух=150oC ⇒ Iух=709,135 ккал/кг;

Iоух – энтальпия теоретического объёма воздуха, которую при

tпрс=( tгв + t’в)/2=(220+30)/2=125 oC ⇒ Iпрс=421 ккал/кг;

Полученное значение энтальпии газов за экономайзером позволяет определить температуру дымовых газов за ним υ″эк=301,870С;

Тепловосприятие водяного экономайзера определяют по уравнению теплового баланса теплоносителя (дымовых газов):

Определяем невязку теплового баланса парового котла:





**8. Поверочно-конструкторский расчёт пароперегревателя**

Целью поверочно-конструкторского расчёта пароперегревателя является определение его поверхности нагрева при известных тепловосприятиях, конструктивных размерах и характеристиках. Тепловосприятие пароперегревателя определено ранее, конструктивные размеры и характеристики поверхности заданы чертежом. Решением уравнения теплопередачи определяют требуемую (расчётную) величину поверхности нагрева пароперегревателя, сравнивают её с заданной по чертежу и принимают решение о внесении конструктивных изменений в поверхность.

По чертежам парового котла составляем эскиз пароперегревателя в двух проекциях на миллимет-ровой бумаге в масштабе 1:25.

По чертежам и эскизу заполняем таблицу:

Конструктивные размеры и характеристики пароперегревателя

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | | | Обозн. | Раз-ть | Величина | |
| Наружный диаметр труб | | d | м | 0,032 | | |
| Внутренний диаметр труб | | | dвн | м | 0,026 | |
| Количество труб в ряду | | | z1 | - | 68 | |
| Количество труб по ходу газов | | | z2 | - | 18 | |
| Шаг труб: поперечный | | | S1 | м | 0,075 | |
| продольный | | | S2 | м | 0,055 | |
| Относительный шаг труб  поперечный | | | S1/d | - | 2,344 | |
| продольный | | | S2/d | - | 1,719 | |
| Расположение труб змеевика | | | - | - | шахматное | |
| Характер взаимного течения | | | - | - | перекрестный ток | |
| Длина трубы змеевика | | | l | м | 29,94 | |
| Поверхность, примыкающая к стенке | | | Fст⋅х | м2 | 21,353 | |
| Поверхность нагрева | | | H | м2 | 226,01 | |
| Размеры газохода: высота на входе высота на выходе | | | a′  a″ | м  м | 1,68 | |
| ширина | | | b | м | 5,2 | |
| Площадь живого сечения на входе | | | F′ | м2 | 5,363 | |
| Площадь живого сечения на выходе | | | F″ | м2 | 5,363 | |
| Средняя площадь живого сечения | | | Fср | м2 | 5,363 | |
| Средняя эффективная толщина излучающего слоя | | | Sф | м | 0,119 | |
| Глубина газового объёма до пучка | | | lоб | м | 1,35 | |
| Глубина пучка | | | lп | м | 0,935 | |
| Количество змеевиков, включённых параллельно по пару | | | m | шт. | 68 | |
| Живое сечение для прохода пара | | | f | м2 | 0,0361 | |

Поверхность нагрева для каждой ступени пароперегревателя определяют по наружному диаметру труб, полной длине змеевика (с учётом гибов) l и числу труб в ряду (поперёк газохода) z1. В неё также включается поверхность труб, примыкающих к обмуровке, называемая дополнительной, которую определяют как произведение площади стены (потолка) Fст, занятой этими трубами, на угловой коэффициент х, определяемый по номограмме на основании соотношений S1/d и е/d причём е/d ≅ r/d =0,5 ⇒ х=0,75. Таким образом, с учётом особенностей конструкции пароперегревателей поверхность нагрева определяем по формуле:

Н = π⋅d⋅z1⋅ l+ Fст ⋅х.

Глубину газового объёма до пучка и глубину пучка определяют по рекомендациям и чертежу.

По значениям шагов для пароперегревателя и диаметру труб находим эффективную толщину излучающего слоя:



Площадь живого сечения для прохода газов на входе и выходе определяют по формуле:

F = a·b – d·z1· lпр = 1,68·5,2 – 68·0,032·1,55 = 5,363 (м2);

Площадь живого сечения для прохода пара:



Составляем таблицу исходных данных поверочно-конструкторского теплового расчёта пароперегревателя:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | Обознение | Размерность | Величина |
| Температура газов до пароперегревателя | υф″ | 0С | 998,4 |
| Температура газов за пароперегревателя | υпе″ | 0С | 601,52 |
| Температура в состояния насыщения | tн | 0С | 256,23 |
| Температура перегретого пара | tпе | 0С | 440 |
| Средний удельный объём пара | υср | м3/кг | 0,062615 |
| Конвективное восприятие | Qkпе | ккал/кг | 1886,41 |
| Объёмы газов на выходе из топки при αсрпе | Vг | м3/кг | 12,721 |
| Объёмная доля водяных паров | rH2O | - | 0,1202 |
| Объёмная доля трёхатомных газов | rRO2 | - | 0,2445 |

Средний удельный объём пара находят по удельным объёмам пара в состоянии насыщения и перегретого пара:

Все остальные величины определены ранее.

Коэффициент теплопередачи определяют для пароперегревателя в целом по средним значениям необходимых величин из таблиц.

Коэффициент теплопередачи от газов к стенке для всех схем пароперегревателей определяют по формуле:

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке для всех схем пароперегревателей определяют по формуле:

Для определения αк - коэффициента теплоотдачи конвекцией от газов к стенке труб, рассчитаем среднюю скорость газового потока:



При поперечном омывании шахматных пучков дымовыми газами коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесённый к полной расчётной поверхности, определяют по номограмме: αн=80 ккал/м2⋅ч⋅оС; добавочные коэффициенты:

Сz=1; Сф=0,98; Сs=1; ⇒ αк = αн⋅Сz⋅Сф⋅Сs = =80⋅1⋅0,98⋅1 = 78,4 ккал/м2⋅ч⋅оС;

Для нахождения αл используем номограммы и степень черноты продуктов горения ‘a’:

Для незапылённой поверхности

k⋅p⋅S = kг⋅rn⋅S⋅p, где р = 1кгс/ см2; rn=0,2445;

рn⋅S = rn⋅S = 0,2445⋅0,119 = 0,0291.

Для пользования номограммой необходимо знать температуру загрязнённой стенки расчитываемой поверхности нагрева:

tз = tпеср + (80÷100) = 348,12 + 90 = 438,12 оС;

По номограмме находим

Сг = 0,95; αн = 130 ккал/м2⋅ч⋅оС; ⇒ αл = αн⋅а⋅Сг = 130⋅0,95⋅0,0926 = 11,437 ккал/м2⋅ч⋅оС;

При расчёте пароперегревателя и экономайзера на величину αл необходимо ввести поправку, связанную с наличием газового объёма, свободного от труб перед этими поверхностями и между отдельными пакетами поверхностей:

Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару в пароперегревателе определяют по номограмме, при среднем значении давлений, температур и скорости пара:



При этой скорости пара

Сd = 1,02; αн = 1300 ккал/м2⋅ч⋅оС;⇒ αл = αн⋅Сd = 1300⋅1,02 = 1326 ккал/м2⋅ч⋅оС;



Определим расчётную поверхность:





**9. Поверочно-конструкторский расчёт хвостовых поверхностей нагрева**

**9.1 Расчёт водного экономайзера**

С использованием ранее выполненых расчётов для теплового расчёта экономайзера составляют таблицу исходных данных:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | Обознение | Размерность | Величина |
| Температура газов до экономайзера | υпе″ | 0С | 601,52 |
| Температура газов за экономайзером | υэк″ | 0С | 301,865 |
| Температура питательной воды | Tпв | 0С | 140 |
| Давление пит. воды перед экономайзером | Р′эк | кгс/см2 | 48,6 |
| Энтальпия питательной воды | iпв | ккал/кг | 141,3 |
| Тепловосприятие по балансу | Qбэк | ккал/кг | 1310,63 |
| Объёмы газов при среднем избытке воздуха | Vг | м3/кг | 13,3145 |
| Объёмная доля водяных паров | rH2O | - | 0,1156 |
| Объёмная доля трёхатомных газов | rRO2 | - | 0,2343 |

Примечание: Давление воды перед водяным экономайзером для паровых котлов среднего давления принимают Р′эк = 1,08⋅Рб.

Предварительно определяют тип водяного экономайзера (кипящий или некипящий) по значению энтальпии рабочей среды за экономайзером:

Энтальпию и температуру воды после водяного экономайзера определяют из уравнения теплового баланса по рабочему телу (воде):



Где Dэк – пропуск воды через экономайзер, кг/ч; при поверхностных пароохладителях Dэк = Dпе =D;

i″эк – энтальпия воды после водяного экономайзера, ккал/кг; i′эк – энтальпия воды перед водяным экономайзером, ккал/кг.

По чертежам парового котла составляем эскиз экономайзера в двух проекциях на миллиметровой бумаге в масштабе 1:25, на котором указываем все конструктивные размеры.

По чертежам и эскизу заполняем таблицу.

Конструктивные размеры и характеристики экономайзера

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | | | | Обозн | Раз-ть | Величина |
| Наружный диаметр труб | | d | м | 0,028 | |
| Внутренний диаметр труб | | | | dвн | м | 0,022 |
| Количество труб в ряду | | | | z1 | -- | 25 |
| Количество рядов труб по ходу газов | | | | z2 | -- | 40 |
| Шаг труб:  поперечный | | | | S1 | м | 0,07 |
| продольный | | | | S2 | м | 0,05 |
| Относительный шаг труб  поперечный | | | | S1/d | -- | 2,5 |
| продольный | | | | S2/d | -- | 1,786 |
| Расположение труб змеевика | | | | -- | -- | шахматное |
| Характер взаимного течения | | | | -- | -- | противоток |
| Длина горизонтальной части петли змеевика | | | | l1 | м | 5,1 |
| Длина проекции одного ряда труб на горизонтальную плоскость сечения | | | | lпр | м | 5,2 |
| Длина трубы змеевика | | | | l | м | 104,83 |
| Поверхность нагрева ЭКО (по чертежу) | | | | Hэк ч | м2 | 461,06 |
| Глубина газохода | | | | а | м | 1,78 |
| Ширина газохода | | | | b | м | 5,4 |
| Площадь живого сечения для прохода газов | | | | Fг | м2 | 5,972 |
| Средняя эффективная толщина излучающего слоя | | | | Sф | м | 0,118 |
| Глубина газового объёма до пучка | | | | lоб | м | 2 |
| Глубина пучка | | | | lп | м | 1,9 |
| Количество змеевиков, включённых параллельно по пару | | | | m | шт. | 50 |
| Живое сечение для прохода пара | | | | f | м2 | 0,019 |

Коэффициент теплопередачи для экономайзера в целом определяют по средним значениям необходимых величин.

Для определения αк - коэффициента теплоотдачи конвекцией от газов к стенке труб, рассчитаем среднюю скорость газового потока:



При поперечном омывании шахматных пучков дымовыми газами коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесённый к полной расчётной поверхности, определяют по номограмме 13: αн=60 ккал/м2⋅ч⋅оС; добавочные коэффициенты:

Сz=1; Сф=1; Сs=1; ⇒ αк = αн⋅Сz⋅Сф⋅Сs = 63⋅1⋅1⋅1 = 60 ккал/м2⋅ч⋅оС;

Для нахождения αл используем номограмму 19 и степень черноты продуктов горения ‘a’:

Для незапылённой поверхности k⋅p⋅S = kг⋅rn⋅S⋅p, где р = 1кгс/ см2; rn=0,2343.



рn⋅S = rn⋅S = 0,2343⋅0,118 = 0,02765;

По номограмме находим kг = 3,4; ⇒

Для пользования номограммой необходимо знать температуру загрязнённой стенки расчитываемой поверхности нагрева:

tз = 0,5⋅(t′эк + t″эк ) + (40÷60) = 0,5⋅(154,56+242,96) + 50 = 248,76 оС;

По номограмме находим

Сг=0,97; αн=100 ккал/м2⋅ч⋅оС; ⇒ αл = αн⋅а⋅Сг =100⋅0,0897⋅0,97= 8,7 ккал/м2⋅ч⋅оС;

При расчёте экономайзера на величину αл необходимо ввести поправку, связанную с наличием газового объёма, свободного от труб перед этими поверхностями и между отдельными пакетами поверхностей:

**9.2 Расчёт воздушного подогревателя**

По чертежам парового котла составляем эскиз воздухоподогревателя в двух проекциях на миллиметровой бумаге в масштабе 1:25, на котором указывают все конструктивные размеры.

По чертежам и эскизу заполняем таблицу:

Конструктивные размеры и характеристики воздухоподогревателя

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | | | | Обозн | Раз-ть | | Величина |
| Наружный диаметр труб | | d | м | 0,04 | | |
| Внутренний диаметр труб | | | | dвн | м | | 0,037 |
| Количество труб в ряду | | | | z1 | - | | 72 |
| Количество рядов труб по ходу газов | | | | z2 | - | | 33 |
| Шаг труб:  поперечный | | | | S1 | м | | 0,056 |
| продольный | | | | S2 | м | | 0,042 |
| Относительный шаг труб:  поперечный | | | | S1/d | - | | 1,4 |
| продольный | | | | S2/d | - | | 1,05 |
| Расположение труб | | | | - | - | | шахматное |
| Характер омывания труб газами | | | | - | - | | продольный |
| Характер омывания труб воздухом | | | | - | - | | поперечный |
| Число труб, включённых параллельно по газам | | | | z0 | - | | 2376 |
| Площадь живого сечения для прохода газов | | | | Fг | м2 | | 2,555 |
| Ширина газохода | | | | b | м | | 4,144 |
| Высота одного хода по воздуху (заводская) | | | | hх | м | | 2,1 |
| Площадь живое сечение для прохода воздуха | | | | Fв | м2 | | 2,6544 |
| Поверхность нагрева ВЗП | | | | Hвп | м2 | | 2413,99 |

Примечание: Трубчатые воздухоподогреватели, как правило, выполняются с вертикальным расположением труб в газоходе, внутри которых движутся газы, а воздух омывает шахматно расположенный пучок труб снаружи, омывание поперечное; взаимное движение сред характеризуется перекрёстным током. Число ходов воздуха не меньше двух. Расчётно определим число труб, включенных параллельно по газам:

Площадь живого сечения для прохода газа:



Площадь живого сечения для прохода воздуха (по заданной заводской конструкции):



Поверхность нагрева ВЗП:



С использованием ранее выполненых расчётов для теплового расчёта ВП составляют таблицу исходных данных:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | Обознение | Размерность | Величина |
| Температура газов до воздухоподогревателя | υэк″ | 0С | 301,87 |
| Температура газов за воздухоподогревателем | υух | 0С | 150 |
| Температура воздуха до воздухоподогревателя | t′в | 0С | 30 |
| Температура горячего воздуха после  воздухоподогревателя | tгв | 0С | 220 |
| Объёмы газов при среднем избытке воздуха | Vг | м3/кг | 14,0698 |
| Теоретический объём воздуха | V0 | м3/кг | 10,62 |
| Температура воздуха до воздухоподогревателем к теоретически необходимому | β″вп | -- | 1,05 |
| Объёмная доля водяных паров | rH2O | -- | 0,1102 |
| Тепловосприятие по балансу | Qбвп | ккал/кг | 695,85 |

Находим скорости газов и воздуха:





Скорости газов и воздуха должны быть в пределах допустимых нормативных значений в зависимости от вида топлива и характеристик зол. В курсовом проекте допустимая скорость газов составляет: Wг=12±3 м/с, а Wв = (0,5÷0,6)⋅Wг = 5,07÷6,08 м/с, однако полученная скорость воздуха больше допустимой ⇒ принимаем Wв’=6,08 м/c.

#### Коэффициент теплопередачи для воздухоподогревателя в целом определяют по средним значениям необходимых величин. где ξ = 0,7

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке для воздухоподогревателя определяют по формуле:

При продольном омывании трубной поверхности дымовыми газами коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесённый к полной расчётной поверхности, определяют по номограмме 14: αн=29 ккал/м2⋅ч⋅оС; добавочные коэффициенты:

Сф=1,1; Сl=1; ⇒αк = αн⋅Сф⋅Сl = 29⋅1,1⋅1 = 31,9 ккал/м2⋅ч⋅оС;

При поперечном омывании шахматных пучков дымовыми газами коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесённый к полной расчётной поверхности, определяют по номограмме 13:

αн= 56 ккал/м2⋅ч⋅оС; добавочные коэффициенты:

Сz=1; Сф=0,98; Сs=1; ⇒αк = αн⋅Сz⋅Сф⋅Сs = 56⋅1⋅0,98⋅1 = 54,88 ккал/м2⋅ч⋅оС;



Температурный напор:







⇒ температурный напор можно найти как:



**Список литературы**

1. Тепловой расчёт котельных агрегатов. (Нормативный метод)/Под редакцией Н.В. Кузнецова. – М.: Энергия, 1973. –296с.
2. Резников М.И. Парогенераторные установки электростанций. – М.: Энергия, 1974. –360с.
3. Методические указантя по определению коэффициента полезного действия паровых котлов / Парилов В.А., Ривкин А.С., Ушаков С.Г., Шелыгин Б.Л. – Иваново, 1987. –36с.
4. Методические указантя по определению коэффициента теплопередачи и температурного напора при расчёте поверхностей нагрева паровых котлов / Парилов В.А., Ривкин А.С., Ушаков С.Г., Шелыгин Б.Л. – Иваново; ИЭИ, 1987.
5. Методические указантя по поверочному расчёту топочной камеры и фестона паровых котлов / Парилов В.А., Ривкин А.С., Ушаков С.Г., Шелыгин Б.Л. – Иваново; ИЭИ, 1987.
6. Методические указантя по конструкторскому расчёту пароперегревателя и хвостовых поверхностей паровых котлов / Парилов В.А., Ривкин А.С., Ушаков С.Г., Шелыгин Б.Л. – Иваново; ИЭИ, 1991. –36с.
7. Александров В.Г. Паровые котлы средней и малой мощности. –Л.: Энергия, 1972.—200с.
8. Ковалёв А.П., Лелеев Н.С., Виленский Т.В. Парогенераторы: Учебник для ВУЗов. –М.: Энерго- атомиздат, 1985. –376с.