**Кафедра:** теплотехники

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

з дисциплины:

„Котельные установки промышленных предприятий”

## Исходные данные

**Сорт (марка) топлива - Межреченское Г**

**Тип котла - ТП-35**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|
|
| 100 | 202 | 170 |
| 200 | 408 | 360 |
| 300 | 621 | 545 |
| 400 | 840 | 733 |
| 500 | 1066 | 925 |
| 600 | 1295 | 1122 |
| 700 | 1531 | 1325 |
| 800 | 1774 | 1529 |
| 900 | 2022 | 1732 |
| 1000 | 2278 | 1992 |
| 1100 | 2525 | 2157 |
| 1200 | 2778 | 2372 |
| 1300 | 3038 | 2587 |
| 1400 | 3302 | 2808 |
| 1500 | 3564 | 3029 |
| 1600 | 3830 | 3250 |
| 1700 | 4097 | 3470 |
| 1800 | 4365 | 3691 |
| 1900 | 4638 | 3918 |
| 2000 | 4908 | 4144 |
| 2100 | 5083 | 4371 |

tк - 30 ºС

tпв - 100 ºС

tпс - 430 ºС

Р - 3,7 МПа

Wр - 8 %

Ар - 25,8 %

Sкр - 2,3 %

Sорр - 0,8 %

Wрмакс - 10 % - влажность

Армакс - 35,0 % - зольность

Wги - 1,5 % - влажность гигроскопическая

Wп - 1,55 % - влажность 103 кг/ккал

Ап - 5,01 % - зольность 103 кг/ккал

Vг - 38,01 % - выход летучих на горючую массу

Qгб - 8250 - теплота сгорания по бомбе, ккал/ кг

V0 = 5,66

VRO2 = 1,02

V0N2 = 4,48

V0Н2О = 0,59

Vr0 = 6,09

Qнр = 5250 ∙ 4,2 = 21630 кДж/кг

Таблица 1-1 Присосы воздуха по газоходам Δα и расчётные коэффициенты избытка воздуха в газоходах α ''

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Участки газового тракта | Δα | α '' |
| Топка и фестон | 0,10 | 1,25 |
| Перегреватель (II ступень) | 0,03 | 1,28 |
| То же (I ступень) | 0,02 | 1,30 |
| Экономайзер стальной (II ступень) | 0,03 | 1,33 |
| Экономайзер стальной (I ступень) | 0,03 | 1,39 |
| Воздухоподогреватель трубчатый (II ступень) | 0,03 | 1,36 |
| воздухонагреватель трубчатый (I ступень) | 0,03 | 1,42 |

Таблица 1-2 Характеристика продуктов сгорания в газоходах парогенератора

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Величина** | **Единицы** | **Газоходы** | | | | | | |
| **Топка и фестон** | **ІІ ступень перегревателя** | **І ступень перегревателя** | **ІІ ступень экономайзера** | **ІІ ступень воздухоподогревателя** | **І ступень экономайзера** | **ІІ ступень воздухоподогревателя** |
| Коэффициент избытка воздуха средний | - | 1.25 | 1.28 | 1.3 | 1.33 | 1,36 | 1.39 | 1.42 |
| v*RO2* |  | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
|  |  | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.62 | 0.62 | 0.62 | 0.62 |
|  |  | 7.52 | 7.69 | 7.80 | 7.98 | 8.15 | 8.32 | 8.49 |
|  | - | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
|  | - | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
|  | - | 0.21 | 0.20 | 0.20 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
|  |  | 32.5 | 31.8 | 31.4 | 30.7 | 30.7 | 29.4 | 28.8 |

Таблица 1-3 Энтальпия теоретического объёма воздуха и продуктов сгорания топлива, кДж/кг.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V, ºС | I0B = V0 (ct) в | IRO2 = =VRO2 (Cύ) RO2 | I0N2 =  = V0N2 (Cύ) N2 | I0H2O=V0H2O∙  ∙ (Cύ) ∙H2O | I0r = IRO2 +  + I0N2 + I0H2O |
| 25 | 221 | - | - | - | - |
| 100 | 748 | 173 | 583 | 90 | 846 |
| 200 | 1506 | 365 | 1165 | 180 | 1710 |
| 300 | 2281 | 571 | 1757 | 274 | 2602 |
| 400 | 3068 | 788 | 2361 | 351 | 3500 |
| 500 | 3872 | 1016 | 2975 | 469 | 4460 |
| 600 | 4698 | 1247 | 3602 | 571 | 5420 |
| 700 | 5542 | 1491 | 4239 | 677 | 6407 |
| 800 | 6396 | 1739 | 4897 | 788 | 7424 |
| 900 | 7251 | 1991 | 5569 | 890 | 8450 |
| 1000 | 8128 | 2247 | 6246 | 1018 | 9511 |
| 1100 | 9028 | 2507 | 6922 | 1137 | 10566 |
| 1200 | 9928 | 2772 | 7594 | 1258 | 11624 |
| 1400 | 12317 | 3305 | 9001 | 1510 | 13816 |
| 1600 | 13601 | 3843 | 10408 | 1771 | 16022 |
| 1800 | 15447 | 4390 | 11837 | 2041 | 18268 |
| 2000 | 17343 | 4940 | 13279 | 2335 | 20554 |
| 2200 | 19239 | 5495 | 14740 | 2596 | 22831 |

Таблица 1-4 Энтальпия продуктов сгорания в газоходах кДж/кг

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | **Участки газового тракта** | | | | | | | | | | | | | |
| Топка | | ІІ перегре-ватель | | І перегре-ватель | | ІІ  эконо-майзер | | ІІ воздухоподогреватель | | І  эконо-майзер | | І воздухо-подогреватель | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 100 | 848 | 714 |  | 1254  1349  1210  1289  1317  1341  1333  1349  1352  1358  1385  1371  974 |  | 1193  1230  1261  1280  1382  1231 |  | 1191  1210  1247  1278  1296  1404 |  | 1181  1215  1235  1273  1303  1322 | 1105 | 1153  1174  1204  1240  1259 | 1127 | 1177  1197  1228  1263 | 1148 | 1201  1220 |
| 200 | 1714 | 1512 |  |  |  |  | 2258 | 2304 | 2349 |
| 300 | 2608 | 2289 |  |  |  | 3363 | 3432 | 3501 | 3569 |
| 400 | 3528 | 3079 |  |  | 4452 | 4544 | 4636 | 4729 |  |
| 500 | 4477 | 3885 |  | 5565 | 5643 | 5759 | 5876 | 5992 |  |
| 600 | 5439 | 4712 |  | 6758 | 6853 | 6994 | 7135 |  |  |
| 700 | 6430 | 5565 |  | 7988 | 8100 | 8267 |  |  |  |
| 800 | 7451 | 6422 | 9057 | 9249 | 9378 | 9570 |  |  |  |
| 900 | 8492 | 7274 | 10311 | 10529 | 10674 | 10892 |  |  |  |
| 1000 | 9568 | 8366 | 11660 | 11911 | 12078 |  |  |  |  |
| 1100 | 10605 | 9059 | 12870 | 13142 |  |  |  |  |  |
| 1200 | 11668 | 9962 | 14159 |  |  |  |  |  |  |
| 1300 | 12760 | 10865 | 15476 |  |  |  |  |  |  |
| 1400 | 13868 | 11794 | 16817 |  |  |  |  |  |  |
| 1500 | 14969 | 12722 | 18150 |  |  |  |  |  |  |
| 1600 | 16086 | 13650 | 19499 |  |  |  |  |  |  |
| 1700 | 17207 | 14574 | 20851 |  |  |  |  |  |  |
| 1800 | 18333 | 15502 | 22209 |  |  |  |  |  |  |
| 1900 | 19480 | 16456 | 23594 |  |  |  |  |  |  |
| 2000 | 20614 | 17405 | 24965 |  |  |  |  |  |  |
| 2100 | 21349 | 18358 | 25939 |  |  |  |  |  |  |

Таблица 1-5 Расчёт теплового баланса парогенератора и расход топлива

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | **Единица** | **Расчёт** |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Располагаемая теплота топлива |  | ++ | кДж/кг | 21630+0+0=21630 |
| Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива |  | По табл.4 - 3 | % | 0.5 |
| Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива |  | То же | % | 3 |
| Температура уходящих газов |  | По заданию |  | 100 |
| Энтальпия уходящих газов |  | По  - таблице | кДж/кг | 2231 |
| Температура воздуха в котельной |  | По выбору |  | 30 |
| Энтальпия воздуха в котельной |  | По  - таблице | кДж/кг | 221 |
| Потеря теплоты с уходящими газами |  |  | % |  |
| Потеря теплоты от наружного охлаждения |  | По рис.3 - 1 | % | 1.1 |
| Сумма тепловых потерь |  | +++ | % | 8.5+0.5+3+1.1=13 |
| К.П.Д. парогенератора |  | 100 - | % | 100 - 13= 87 |
| Коэффициент сохранения теплоты |  | 1 - |  |  |
| Паропроизводительность агрегата |  | По заданию |  | 9.72 |
| Давление пара в барабане |  | То же | МПа | 3.7 |
| Температура перегретого пара |  | То же |  | 430 |
| Температура питательной воды |  | То же |  | 100 |
| Удельная энтальпия перегретого пара |  | По табл. VI-8 | кДж/кг | 3290 |
| Удельная энтальпия питательной воды |  | По табл. VI-6 | кДж/кг | 390 |
| Значение продувки |  | По выбору | % | 4.5 |
| Полезно используемая теплота в агрегате |  | ( - ) +  + ( - ) | кВт |  |
| Полный расход топлива |  |  |  |  |
| Расчётный расход топлива |  |  |  |  |

Таблица 1-6 Расчёт конструктивных характеристик топки

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Активный объём топочной камеры |  | По конструктивным размерам |  | 206 |
| Тепловое напряжение объёма топки:  расчётное  допустимое |  | /  По табл.4 - 3 | кВт/  кВт/ | 210 |
| Количество горелок |  | По табл. III - 10 | шт. | 2 |
| Теплопроизводи-тельность горелки |  | 1.25 | МВт |  |
| Тип горелки | - | По табл. III - 6 | - | ТКЗ - ЦКТИ, ГУ - 11 №3 |

Таблица 1-7 Расчет полной площади поверхности стен топки Fст и площади лучевоспринимающей поверхности топки Нл

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | | Единица | Стены топки | | | Выходное окно топки | Суммарная площадь |
| Наименование | Обозначение | Фронтовая и свод | Боковые | задняя |
| Общая площадь стены и выходного окна | Fст | м2 | 74 | 87 | 41 | 20 | 222 |
| Расстояние между осями крайних труб | b | м | 4,66 | 4,072 | 4,66 | 4,66 | - |
| Освещенная длина труб | lосв | м | 13,8 | 9,9 | 8,5 | 4,3 | - |
| Площадь, занятая лучевоспринимающей поверхностью:  полная  покрытая торкретом  открытая | F  Fзакр  Fоткр | м2  м2  м2 | 64,4  14  50,4 | 80,6  15  65,6 | 39,6  39,6 | 20,0  20,0 | 204,6  29  175,6 |
| Наружный диаметр экранных труб | d | мм | 60 | 60 | 60 | 60 | - |
| Шаг экранных труб | s | мм | 110 | 110 | 80 | - | - |
| Расстояние от оси экранных труб до кладки (стены) | l | мм | 60 | 60 | 60 | - | - |
| Отношение | s/d | - | 1,83 | 1,83 | 1,33 | - | - |
| Отношение | l/d | - | 1 | 1 | 1 | - | - |
| Угловой коэффициент экрана | x | - | 0,90 | 0,90 | 0,96 | 1,00 | - |
| Площадь лучевоспринимающей поверхности открытых экранов | Hл.откр | м2 | 45,4 | 59,4 | 38,2 | 20,0 | 163 |
| Площадь лучевоспринимающей поверхности экранов, покрытых торкретом | Hл.закр | м2 | 14 | 15 | - | - | 29 |

Таблица 1-8 Поверочный расчёт теплообмена в топке

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозна-  чение | Расчётные формулы или способ определения |
| Суммарная площадь лучевоспринимающей поверхности |  | По конструктивным размерам |  | 192 |
| Площадь лучевоспринимающей поверхности открытых экранов |  | То же |  | 163 |
| Площадь лучевоспринимающей поверхности закрытых экранов |  | То же |  | 29 |
| Полная площадь стен топочной камеры |  | То же |  | 222 |
| Коэффициент тепловой эффективности лучевоспринимающей поверхности |  |  | - |  |
| Эффективная толщина излучающего слоя пламени |  | 3.6 |  |  |
| Полная высота топки |  | По конструктивным размерам |  | 10.6 |
| Высота расположения горелок |  | То же |  | 2.6 |
| Относительный уровень расположения горелок |  | / | - | 0.245 |
| Параметр, учитывающий характер распределения температуры в топке |  | 0.59 - 0.5 | - | 0.59-0.50.245=0.467 |
| Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки |  | По табл.4 - 3 | - | 1.2 |
| Присос воздуха в топке |  | По табл.2 - 1 | - | 0.1 |
| Присос воздуха в системе пылеприготовления |  | То же | - | 0.1 |
| Температура горячего воздуха |  | По предварительному вибору |  | 350 |
| Энтальпия горячего воздуха |  | По  - таблице | кДж/кг | 3143.5 |
| Энтальпия присосов воздуха |  | То же | кДж/кг | 229.2 |
| Количество теплоты, вносимое в топку воздухом |  | (--) +  + (+) | кДж/кг | (1.2 - 0.1 - 0.1) 3143.5 +  + (0.1+0.1) 229.2 = 3189.34 |
| Полезное тепловыделение в топке |  | +  +- | кДж/кг | + 3189.34 = 24708 |
| Адиабатическая температура горения |  | По  - таблице |  | 1906 |
| Температура газов на выходе из топки |  | По предварительному вибору |  | 1000 |
| Энтальпия газов на выходе из топки |  | По  - таблице | кДж/кг | 11850 |
| Средняя суммарная теплоёмкость продуктов сгорания |  |  | кДж/ (кгК) |  |
| Объёмная доля:  водяных паров  трёхатомных газов |  | По табл.1 - 2  То же |  | 0.08  0.14 |
| Суммарная объёмная доля трёхатомных газов |  | + | - | 0.08 + 0.14 = 0.22 |
| Произведение |  |  | МПа | 0.1∙ 0.22 ∙ 3.35 = 0.074 |
| Коэффициент ослабления лучей:  трёхатомными газами  золовыми частицами  частицами кокса |  | По рис.5 - 5  По рис.5 - 6  По п.5 - 2 | 1/ (МПа)  1/ (МПа)  1/ (МПа) | 9.6  0.057  10 |
| Безразмерные параметры |  | По п.5 - 2  То же |  | 0.5  0.1 |
| Коэффициент ослабления лучей топочной средой |  | ++ | 1/ (МПа) | 9.6 ∙ 0.22 + 0.057 ∙ 18.5 + 10 ∙ 0.5 ∙0.1= =3.67 |
| Суммарная сила поглащения топочного объёма |  |  |  | 3.67 0.13.35 = 1.23 |
| Степень черноты факела |  | По рис.5 - 4 | - | 0.77 |
| Степень черноты топки |  | По рис.5 - 3 | - | 0.91 |
| Тепловая нагрузка стен топки |  |  | кВт/ |  |
| Температура газов на выходе из топки |  | По рис.5 - 7 |  | 1115 |
| Энтальпия газов на выходе из топки |  | По  - таблице | кДж/кг | 13360 |
| Общее тепловосприятие топки |  | (-) | кДж/кг | 0.988 (25126 - 13360) = 11625 |
| Средняя удельная тепловая нагрузка лучевоспринимающих поверхностей топки |  |  | кВт/ |  |

Таблица 1-9 Поверочный расчёт фестона

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Полная площадь поверхности нагрева |  | По конструктивным размерам |  | 42 |
| Площадь поверхности труб боковых экранов, находящихся в зоне фестона |  | То же |  | 4 |
| Диаметр труб |  | То же |  |  |
| Относительный шаг труб:  поперечный  продольный | /  / | То же  То же |  | 4  3.5 |
| Кол-во рядов труб по ходу газов |  | То же | шт. | 3 |
| Кол-во труб в ряду |  | То же | шт. | 16 |
| Площадь живого сечения для прохода газов |  | АВ- |  | 13.3 |
| Эффективная толщина излучающего слоя |  | 0.9 () |  | 0.85 |
| Температура газов перед фестоном |  | Из расчёта топки |  | 1008 |
| Энтальпия газов перед фестоном |  | То же | кДж/кг | 11948 |
| Температура газов за фестоном |  | По предварительному выбору |  | 950 |
| Энтальпия газов за фестоном |  | По  - таблице | кДж/кг | 11198 |
| Кол-во теплоты отданное фестону |  | (-) | кДж/кг | 0.988 (11948 - 11198) =750 |
| Температура кипения при давлении в барабане Рб = 4.3 МПа |  | По табл.VI - 7 |  | 255 |
| Средняя температура газов |  | 0.5 (+) |  | 0.5 (1008 + 950) =979 |
| Средний температурный напор |  | - |  | 979 - 255 =724 |
| Средняя скорость газов |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи конвекцией |  | По рис.6 - 5 | кВт/ (К) | 32.3 |
| Суммарная поглащательная способность трёхатомных газов |  |  | МПа | 0.1 ∙ 0.194 ∙ 0.85 = 0.016 |
| Коэффициент ослабления лучей трёхатомными газами |  | По рис 5 - 5 | 1/МПа | 13 |
| Коэффициент ослабления лучей золовыми частицами |  | По рис 5 - 6 | 1/МПа | 0.07 |
| Суммарная оптическая толщина запылённого газового потока |  | (+) |  | (13∙ 0.194 + 0.07 ∙ 18.5) ∙ 0.1 ∙  ∙ 0.85 = 0.32 |
| Степень черноты излучающей среды |  | По рис 5 - 4 | - | 0.161 |
| Температура загрязнённой стенки трубы |  | + |  | 255 + 80 =335 |
| Коэффициент теплоотдачи излучением |  | По рис.6 - 12 (=) | Вт/ (К) | 195 ∙ 0.161 = 31.3 |
| Коэффициент использованной поверхности нагрева |  | По п.6 - 2 |  | 1 |
| Коэффициент теплоотдачи |  | (+) | Вт/ (К) | 1 (32.3 + 31.3) = 63.6 |
| Коэффициент загрязнения |  | По рис.6 - 13  (=) | (К) / Вт | 0.018 |
| Коэффициент теплопередачи |  |  | Вт/ (К) |  |
| Тепловосприятие фестона по уровню теплопередачи |  |  | кДж/кг |  |
| Тепловосприятие настенных труб |  |  | кДж/кг |  |
| Суммарное тепловосприятие газохода фестона |  | + | кДж/кг | 719+69 = 788 |
| Расхождение расчётных тепловосприятий |  | 100 | % |  |

Таблица 1-10 Конструктивные размеры и характеристики перегревателя

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Размеры и характеристики | | | Единица | Ступень | |
| наименование | обозначение | Расчётная ф-ла или способ определения | I | II |
| Диаметр труб |  | По конструктивным размерам |  | 38/32 | 38/32 |
| Кол-во труб в ряду (поперёк газохода) |  | То же | шт. | 40 | 40 |
| Кол-во труб в ряду (по ходу газов) |  | То же | шт. | 22 | 6 |
| Средний шаг труб:  поперечный  продольный |  | То же |  | 110  82 | 110  104 |
| Расположение труб в пучке |  | То же | - | коридорное | коридорное |
| Характер омывания | - | То же | - | поперечное | поперечное |
| Средняя длина змеевика |  | То же |  | 1.65 | 3.5 |
| Суммарная длина труб |  | То же |  | 1450 | 840 |
| Полная площадь поверхности нагрева |  |  |  | 174 | 102 |
| Площадь живого сечения на входе |  |  |  | 7.2 | 11.4 |
| То же, на выходе |  |  |  | 4.7 | 9.4 |
| Средняя площадь живого сечения газохода |  |  |  | 5.7 | 10.2 |
| Кол-во параллельно включённых змеевиков (по пару) |  | По конструктивным размерам | шт. | 40 | 40 |
| Площадь живого сечения для прохода пара |  |  |  | 0.032 | 0.032 |

Таблица 1-11 Поверочный расчёт второй ступени перегревателя

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Диаметр труб |  | По конструктивным размерам |  | 38/32 |
| Площадь поверхности нагрева |  | То же |  | 102 |
| Температура пара на выходе из ступени |  | По заданию |  | 410 |
| Температура пара на входе в ступень |  | По предварительному выбору |  | 360 |
| Давление пара:  на выходе из ступени  на входе в ступень |  | По заданию  По выбору | МПа  МПа | 4,2  4.2 |
| Удельная энтальпия пара:  на выходе из ступени  на входе в ступень |  | По табл. VI - 8  То же | кДж/кг  кДж/кг | 3235  3117 |
| Суммарное тепловосприятие ступени |  | (-) | кДж/кг |  |
| Средняя удельная тепловая нагрузка лучевосприни-мающих поверхностей топки |  | Из расчёта топки | кВт/ | 91,1 |
| Коэффициент распределения тепловой нагрузки:  по высоте  между стенами |  | По рис.5 - 2  По табл.5 - 7 |  | 0.62  1.1 |
| Удельное лучистое тепловосприятие выходного окна топки |  | ∙∙ | кВт/ | 0.621.191.1=62.1 |
| Угловой коэффициент фестона |  | По рис.5 - 1 | - | 0.72 |
| Площадь поперечного сечения газохода перед ступенью |  |  |  | 3.9 ∙ 4.4 = 17.2 |
| Лучистое тепловосприятие ступени |  | (1-) | кДж/кг |  |
| Конвективное тепловосприятие ступени |  | - | кДж/кг | 949 - 247.2 = 701.8 |
| Температура газов перед ступенью |  | Из расчёта фестона |  | 950 |
| Энтальпия газов на входе в ступень |  | То же | кДж/кг | 12180 |
| Энтальпия газов на выходе из ступени |  | -+ | кДж/кг |  |
| Температура газов на выходе из ступени |  | По  - таблице |  | 840 |
| Средняя температура газов |  | 0.5 (+) |  | 0.5 (950 + 840) = 995 |
| Средняя скорость газов в ступени |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи конвекцией |  | = | Вт/ (К) | 34 |
| Средняя температура пара |  | 0.5 (+) |  | 0.5 (360 + 410) = 385 |
| Объём пара при средней температуре |  | По табл. VI - 8 |  | 0.072 |
| Средняя скорость пара |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи от ступени к пару |  | По рис.6 - 8 (=) | Вт/ (К) | 1258.8 |
| Толщина излучающего слоя |  | 0.9 () |  |  |
| Полный перепад температур газов |  |  |  | 950 - 840 = 110 |
| Полный перепад температур пара |  | - |  | 410 - 360 = 50 |
| Параметр |  |  | - |  |
| Параметр |  | / | - | 110 ⁄ 50 = 2.2 |
| Коэффициент перехода к сложной схеме |  | По рис.6 - 14 | - | 0.997 |
| Температурный перепад |  |  |  | 0.997510 = 508 |
| Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена |  |  | кДж/кг |  |
| Расхождение расчётных тепловосприятий |  | 100 | % |  |
| Температура пара на входе в ступень |  | По выбору |  | 365 |
| Удельная энтальпия пара на входе в ступень |  | По табл. IV - 8 | кДж/кг | 3040 |
| Суммарное тепловосприятие ступени |  | (-) | кДж/кг |  |
| Конвективное тепловосприятие ступени |  | - | кДж/кг | 1568 - 247.2 = 1320.8 |
| Энтальпия газов за ступенью |  | -+ | кДж/кг |  |
| Температура газов на выходе из ступени |  | По  - таблице |  | 820 |
| Разность температур между газами и паром:  наибольшая  наименьшая |  | -  - |  | 950 - 410 = 540  820 - 365 = 455 |
| Температурный напор при противотоке |  |  |  |  |
| Температурный перепад |  |  |  | 0.997∙500 = 498.5 |
| Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена |  |  | кДж/кг |  |
| Расхождение расчётных тепловосприятий |  | 100 | % |  |

Таблица 1-12 Конструктивный расчёт первой ступени перегревателя

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Диаметр труб |  | По конструктивным размерам |  | 38/32 |
| Параметры пара на входе в ступень:  давление  температура  паросодержание |  | =  =  По выбору | МПа | 4.2  255  0.98 |
| Удельная энтальпия:  кипящей воды  сухого насыщенного пара |  | По табл. VI - 7  То же | кДж/кг  кДж/кг | 1101.7  2798.4 |
| Удельная энтальпия пара на входе в ступень |  | + (1-) | кДж/кг | 0.98 ∙ 2798.4 + (1 - 0.98) ∙ 1101.7 =  = 2764 |
| Параметры пара на выходе из ступени:  давление  температура  удельная энтальпия |  | Из расчёта второй ступени перегревателя  То же  То же | МПа    кДж/кг | 4.2  360  3040 |
| Тепловосприятие пароохладителя |  | По выбору | кДж/кг | 60 |
| Тепловосприятие ступени |  | (+ - ) | кДж/кг |  |
| Энтальпия газов на входе в ступень |  | Из расчёта второй ступени перегревателя | кДж/кг | 12180 |
| Температура газов на входе в ступень |  | То же |  | 820 |
| Энтальпия газов на выходе из ступени |  | -+ | кДж/кг | 12180- |
| Температура газов на выходе из ступени |  | По  - таблице |  | 612 |
| Средняя температура газов в ступени |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (820 + 612) = 716 |
| Средняя скорость газов в ступени |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи конвекцией |  | = | Вт/ (К) | 55.6 |
| Средняя температура пара |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (255 + 360) = 307.5 |
| Объём пара при средней температуре |  | По табл. VI - 8 |  | 0.063 |
| Средняя скорость пара |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару |  | По рис.6 - 7 (=) | Вт/ (К) | 1227 |
| Эффективная толщина излучающего слоя |  | 0.9 () |  |  |
| Суммарная поглощательная способность трёхатомных газов |  |  | МПа |  |
| Коэффициент ослабления лучей:  трёхатомными газами  золовыми частицами |  | По рис.5 - 5  По рис.5 - 6 | 1/ (МПа)  1/ (МПа) | 26  0.079 |
| Суммарная оптическая толщина запылённого газового потока |  | (+) | - | (26∙0.2+0.079∙18.5) ∙0.1∙0.25 = = 0.17 |
| Степень черноты излучающей среды |  | По рис.5 - 4 | - | 0.16 |
| Коэффициент загрязнения |  | По п.6 - 2 | (К) / Вт | 0.006 |
| Температура загрязнённой стенки трубы |  | + (+) |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи излучением |  | По рис.6 - 12 (=) | Вт/ (К) | 25.6 |
| Температура в объёме камеры перед ступенью |  | Из расчёта второй ступени перегревателя |  | 840 |
| Коэффициент |  | По п.6 - 2 | - | 0.4 |
| Глубина по ходу газов:  cтупени (пучка)  объёма перед ступенью |  | По конструктивным размерам  То же |  | 0.7  1.8 |
| Коэффициент теплоотдачи излучением с учётом излучения газового объёма перед ступенью |  |  | Вт/ (К) | =33.3 |
| Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке |  | (+) | Вт/ (К) | 1∙ (55.6 +33.3) = 88.9 |
| Коэффициент тепловой эффективности |  | По табл.6 - 2 | - | 0.55 |
| -Коэффициент теплопередачи |  |  | Вт/ (К) |  |
| Разность температур между газами и паром:  Наибольшая  наименьшая |  |  |  | 820 - 360 = 460  612 - 255 = 357 |
| Температурный напор при противотоке |  |  |  |  |
| Полный перепад температур газового потока в ступени |  |  |  | 820 - 612 = 208 |
| Полный перепад температур потока пара |  |  |  | 360 - 255= 105 |
| Параметр |  |  | - |  |
| Параметр |  | / | - | 280/105 = 1.98 |
| Коэффициент перехода к сложной схеме |  | По рис.6 - 15 | - | 0.98 |
| Температурный перепад |  |  |  | 0.98 ∙ 412 = 403.8 |
| Площадь поверхности нагрева ступени |  |  |  |  |

Таблица 1-13. Конструктивные размеры и характеристики экономайзера

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | Единица | Ступень | |
| Наименование | Обозна-  чение | I | II |
| Диаметр труб:  наружный  внутренний |  |  | 32  26 | 32  26 |
| Расположение труб | - | - | шахматное | шахматное |
| Кол-во труб в горизонтальном ряду |  | шт. | 16 | 16 |
| Кол-во горизонтальных рядов труб |  | шт. | 38 | 12 |
| Шаг труб:  поперёк потока газов (по ширине)  вдоль потока газов (по высоте) |  |  | 90  56 | 90  56 |
| Относительный шаг труб:  поперечный  продольный | /  / |  | 2.8  1.75 | 2.8  1.75 |
| Площадь поверхности нагрева |  |  | 250 | 80 |
| Размеры сечения газохода поперёк движения газов |  |  | 4.3  1.49 | 4.3  1.49 |
| Площадь живого сечения для прохода газов |  |  | 4.2 | 4.2 |
| Кол-во параллельно включённых труб (по воде) |  | шт. | 32 | 32 |
| Площадь живого сечения для прохода воды |  |  | 0.017 | 0.017 |

Таблица 1-14. Конструктивные размеры и характеристики воздухоподогревателя

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | Обозна-  чение | Единица | Ступень | |
| Наименование | I | II |
| Диаметр труб:  наружный  внутренний |  |  | 40  37 | 40  37 |
| Длина труб |  |  | 3.4 | 3.4 |
| Расположение труб | - | - | шахматное | шахматное |
| Кол-во ходов по воздуху |  |  | 2 | 2 |
| Кол-во труб в ряду поперёк движения воздуха |  | шт. | 70 | 70 |
| Кол-во рядов труб вдоль движения воздуха |  | шт. | 34 | 34 |
| Шаг труб:  поперечный  (поперёк потока воздуха)  продольный  (вдоль потока воздуха) |  |  | 56  44 | 56  44 |
| Относительный шаг труб:  поперечный  продольный | /  / | - | 1.4  1.1 | 1.4  1.1 |
| Кол-во параллельно включённых труб (по газам) |  | шт. | 2400 | 2400 |
| Площадь живого сечения для прохода газов |  |  | 2.4 | 2.4 |
| Ширина сечения воздушного канала |  |  | 4.3 | 4.3 |
| Площадь живого сечения для прохода воздуха |  |  | 2.1 | 2.1 |
| Площадь поверхности нагрева |  |  | 1000 | 1000 |
| Средняя высота воздушного канала |  |  | 1.7 | 1.7 |

**Таблица 1-15 Поверочный расчёт второй ступени экономайзера**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Площадь поверхности нагрева ступени |  | По конструктивным размерам |  | 145 |
| Площадь живого сечения для прохода газов |  | То же |  | 4.2 |
| То же, для прохода воды |  | То же |  | 0.017 |
| Температура газов на входе в ступень |  | Из расчёта перегревателя |  | 685 |
| Энтальпия газов на входе в ступень |  | То же | кДж/кг | 8080 |
| Температура газов на выходе из ступени |  | По выбору |  | 600 |
| Энтальпия газов на выходе из ступени |  | По  - таблице | кДж/кг | 7149 |
| Тепловосприятие ступени (теплота, отданная газами) |  | (-+) | кДж/кг | 0.988 (8080 - 7149 +0.03 ∙ ∙229) = 927 |
| Удельная энтальпия воды на выходе из ступени |  |  | кДж/кг | 2930 + 60 -  (12573+ +1446 + 782 +1622) =711.4 |
| Температура воды на выходе из ступени |  | По табл.VI - 6 |  | 165 |
| Удельная энтальпия воды на входе в ступень |  | - | кДж/кг |  |
| Температура воды на входе в ступень |  | По табл.VI - 6 |  | 145 |
| Средняя температура воды |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (165 + 145) =155 |
| Скорость воды в трубах |  |  |  |  |
| Средняя температура газов |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (685 +600) = 642.5 |
| Средняя скорость газов |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи конвекцией |  | По рис.6 - 5 | кВт/ (К) | 76.3 |
| Эффективная толщина излучающего слоя |  | 0.9 () |  | = 0.16 |
| Суммарная поглощательная способность трёхатомных газов |  |  | МПа |  |
| Коэффициент ослабления лучей:  трёхатомными газами  золовыми частицами |  | По рис.5 - 5  По рис.5 - 6 | 1/ (МПа)  1/ (МПа) | 35  0.0076 |
| Суммарная оптическая толщина запылённого газового потока |  | (+) | - | (35 ∙ 0.2 + 0.0076∙ 17.9) ∙0.1∙  ∙ 0.16 = 0.11 |
| Степень черноты газа |  | По рис.5 - 4 | - | 0.036 |
| Разность температур между газами и паром:  наибольшая  наименьшая |  |  |  | 685 - 165= 520  550 - 115= 435 |
| Температурный напор |  | 0.5 (+) |  | 477.5 |
| Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена |  |  | кДж/кг |  |
| Расхождение расчётных тепловосприятий |  | 100 | % |  |

Таблица 1-16 Поверочный расчёт первой ступени воздухоподогревателя

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Диаметр и толщина стенки труб |  | По конструктивным размерам |  |  |
| Относительный шаг труб:  поперечный  продольный | / | То же  То же | - | 1.4  1.1 |
| Кол-во рядов труб |  | То же | шт. | 34 |
| Кол-во ходов по воздуху |  | То же | - | 2 |
| Площадь живого сечения для прохода газов |  | То же |  | 2.4 |
| То же, для прохода воздуха |  | То же |  | 2.1 |
| Площадь поверхности нагрева |  | То же |  | 1000 |
| Температура газов на выходе из ступени |  | По заданию (=) |  | 150 |
| Энтальпия газов на выходе из ступени |  | По  - таблице | кДж/кг | 1799 |
| Температура воздуха на входе в ступень |  | По выбору |  | 25 |
| Энтальпия теоретического кол-ва холодного воздуха |  | По  - таблице | кДж/кг | 191 |
| Температура воздуха на выходе из ступени |  | По выбору |  | 160 |
| Энтальпия теоретического кол-ва воздуха на выходе из ступени |  | По  - таблице | кДж/кг | 1228 |
| Отношение |  |  | - | 1.25 - 0.1 - 0.1 + 0.03 = 1.08 |
| Тепловосприятие ступени |  | (-) | кДж/кг |  |
| Средняя температура воздуха в ступени |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (25 + 160) = 92,5 |
| Энтальпия теоретического кол-ва воздуха присосов при средней температуре |  | По  - таблице | кДж/кг | 707 |
| Энтальпия газов на входе в ступень |  | +- | кДж/кг | 1799+ |
| Температура газов на входе в ступень |  | По  - таблице |  | 243 |
| Средняя температура газов |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (243+ 150) = 196.5 |
| Средняя скорость газов |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке |  | По рис.6 - 7 (=) | Вт/ (К) | 30 |
| Средняя скорость воздуха |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи конвекцией |  | = | Вт/ (К) | 58 |
| Коэффициент использованной поверхности нагрева |  | По табл.6 - 3 |  | 0.85 |
| Коэффициент теплопередачи |  |  | Вт/ (К) |  |
| Разность температур между газами и паром:  наибольшая  наименьшая |  |  |  | 150 - 25 = 125  243 - 160 = 83 |
| Температурный напор |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (125 + 83) = 104 |
| Отношение |  |  | - |  |
| Наибольший перепад температур |  |  |  | 160 - 25 = 135 |
| Наименьший перепад температур |  |  |  | 243 - 150 = 93 |
| Параметр |  |  | - |  |
| Параметр |  | / | - | 135/93 = 1,45 |
| Коэффициент |  | По рис.6 - 16 | - | 0.91 |
| Температурный перепад |  |  |  |  |
| Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена |  |  | кДж/кг |  |
| Расхождение расчётных тепловосприятий |  | 100 | % |  |

Таблица 1-17 Поверочный расчёт второй ступени воздухоподогревателя

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Диаметр труб |  | По конструктивным размерам |  |  |
| Относительный шаг труб:  поперечный  продольный | / | То же  То же | - | 1.4  1.1 |
| Кол-во рядов труб |  | То же | шт. | 34 |
| Кол-во ходов по воздуху |  | То же | - | 2 |
| Площадь живого сечения для прохода газов |  | То же |  | 2.4 |
| То же, для прохода воздуха |  | То же |  | 2.1 |
| Площадь поверхности нагрева |  | То же |  | 1000 |
| Температура газов на входе в ступень |  | Из расчёта второй ступени экономайзера |  | 350 |
| Энтальпия газов на входе в ступень |  | То же | кДж/кг | 6519 |
| Температура воздуха на выходе из ступени |  | По выбору |  | 400 |
| Энтальпия воздуха на выходе из ступени |  | По  - таблице | кДж/кг | 3125 |
| Отношение кол-ва воздуха на выходе из ступени к теоретически необходимому |  |  | - | 1.25 - 0.1 - 0.1 = 1.05 |
| Температура воздуха на входе в ступень |  | Из расчёта первой ступени воздухоподогревателя |  | 160 |
| Энтальпия воздуха на входе в ступень |  | По  - таблице | кДж/кг | 1228 |
| Тепловосприятие ступени |  | (-) | кДж/кг |  |
| Средняя температура воздуха |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (160 + 400) = 280 |
| Энтальпия теоретического кол-ва воздуха присосов при средней температуре |  | По  - таблице | кДж/кг | 2166 |
| Энтальпия газов на входе в ступень |  | -+ | кДж/кг |  |
| Температура газов на выходе из ступени |  | По  - таблице |  | 373 |
| Средняя температура газов |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (550+373) = 461.5 |
| Средняя скорость газов |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке |  | По рис.6 - 7 (=) | Вт/ (К) | 33.4 |
| Средняя скорость воздуха |  |  |  |  |
| Коэффициент теплоотдачи конвекцией |  | По рис.6 - 6 (=) | Вт/ (К) | 60.4 |
| Коэффициент использованной поверхности нагрева |  | По табл.6 - 3 | - | 0.85 |
| Коэффициент теплопередачи |  |  | Вт/ (К) |  |
| Разность температур между газами и паром:  наибольшая  наименьшая |  |  |  | 373 - 160 = 213  550 - 400 = 150 |
| Средний температурный напор при противотоке |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (213 +150) = 181.5 |
| Наибольший перепад температур |  |  |  | 400 - 160 = 240 |
| Наименьший перепад температур |  |  |  | 550 - 373 = 177 |
| Параметр |  |  | - |  |
| Параметр |  | / | - | 240/177 = 1.4 |
| Коэффициент |  | По рис.6 - 16 | - | 0.84 |
| Температурный напор |  |  |  |  |
| Тепловосприятие ступени по уравнению теплообмена |  |  | кДж/кг |  |
| Расхождение расчётных тепловосприятий |  | 100 | % |  |

Таблица 1-18 Конструктивный расчёт первой ступени экономайзера

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Температура газов на входе в ступень |  | Из расчёта второй ступени воздухоподогревателя |  | 373 |
| Энтальпия газов на входе в ступень |  | То же | кДж/кг | 4009 |
| Температура газов на выходе из ступени |  | Из расчёта первой ступени воздухоподогревателя |  | 243 |
| Энтальпия газов на выходе из ступени |  | То же | кДж/кг | 2928 |
| Тепловосприятие ступени (теплота, отданная газами) |  | (-+) | кДж/кг |  |

Таблица 1-19 Расчёт невязки теплового баланса парогенератора

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Расчётная температура горячего воздуха |  | Из расчёта воздухоподогревателя |  | 400 |
| Энтальпия горячего воздуха |  | То же | кДж/кг | 3125 |
| Количество теплоты, вносимое в топку воздухом |  | (--) +  + (+) | кДж/кг | (1.25 - 0.1 - 0.1) ∙3125 +  + (0.1 + 0.1) ∙229= 3327 |
| Полезное тепловыделение в топке |  | +  + | кДж/кг |  |
| Лучистое тепловосприятие топки |  | (-) | кДж/кг | 0.988∙ (25263 - 11980) =  = 13124 |
| Расчётная невязка теплового баланса |  | (+  ) | кДж/кг |  |
| Невязка |  | ∙100 | % |  |

Таблица 1-20 Распределение температурного перепада и тепловосприятий между ступенями воздухоподогревателя и экономайзера

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | | | Единица | Расчёт |
| Наименование | Обозначение | Расчётные формулы или способ определения |
| Температура уходящих газов |  | По выбору |  | 150 |
| Энтальпия уходящих газов |  | По  - таблице | кДж/кг | 1799 |
| Температура горячего воздуха |  | По выбору |  | 380 |
| Энтальпия теоретического кол-ва горячего воздуха |  | По  - таблице | кДж/кг | 2965 |
| Температура воздуха на выходе из первой ступени воздухоподогревателя:  по условию (9 - 12)  по выбору |  | >0.4 () |  | 180 |
| Энтальпия теоретического кол-ва  воздуха на выходе из первой ступени воздухоподогревателя |  | По  - таблице | кДж/кг | 1382.4 |
| Отношение |  |  | - |  |
| Тепловосприятие первой ступени воздухоподогревателя |  | (-) | кДж/кг |  |
| Средняя температура воздуха в первой ступени воздухоподогревателя |  | 0.5 (+) |  |  |
| Энтальпия воздуха присосов при средней температуре |  | По  - таблице | кДж/кг | 783 |
| Энтальпия газов перед первой ступенью воздухоподогревателя |  | +- | кДж/кг |  |
| Температура газов перед первой ступенью воздухоподогревателя |  | По  - таблице |  | 263 |
| Отношение |  |  | - | 1.25 - 0.1 - 0.1 = 1.05 |
| Тепловосприятие второй ступени воздухоподогревателя |  | (-) | кДж/кг |  |
| Температура газов перед второй ступенью воздухоподогревателя |  | По выбору |  | 500 |
| Энтальпия газов перед второй ступенью воздухоподогревателя |  | По  - таблице | кДж/кг | 5889 |
| Средняя температура воздуха во второй ступени воздухоподогревателя |  | 0.5 (+) |  | 0.5∙ (180 + 380) = 280 |
| Энтальпия воздуха при средней температуре |  | По  - таблице | кДж/кг | 3267 |
| Энтальпия газов на выходе из второй ступени воздухоподогревателя |  | -+ | кДж/кг |  |
| Температура газов на выходе из второй ступени воздухоподогревателя |  | По  - таблице |  | 374 |
| Тепловосприятие первой ступени экономайзера |  | (-+) | кДж/кг |  |
| Энтальпия газов на входе во вторую ступень экономайзера |  | Из расчёта перегревателя | кДж/кг | 8080 |
| Температура газа на входе во вторую ступень экономайзера |  | То же |  | 684 |
| Тепловосприятие второй ступени экономайзера |  | (-+) | кДж/кг |  |
| Суммарное тепловосприятие ступеней экономайзера |  | + | кДж/кг | 1029 + 1953= 2982 |
| То же, по уравнению теплового баланса (9 - 13) |  | -  (+) | кДж/кг |  |
| Расхождение расчётных тепловосприятий |  | 100 | % |  |
| Расход воды через экономайзер |  | ( + ) |  |  |
| Тепловосприятие пароохладителя |  | Из расчёта перегревателя | кДж/кг | 60 |
| Параметры воды на входе в первую ступень:  удельная энтальпия  температура |  | По табл. VI - 6 | кДж/кг | 112 |
| Параметры воды на выходе из первой ступени:  удельная энтальпия  температура |  | +  По табл. VI - 6 | кДж/кг | 143 |
| Параметры воды на выходе из второй ступени:  удельная энтальпия  температура |  | +  По табл. VI - 6 | кДж/кг | 205 |
| Температура кипения воды при давлении в барабане |  | По табл. VI - 7 |  | 256 |
| Недогрев воды до кипения на выходе из второй ступени |  | - |  | 256 - 206= 51 |