1 Задание на курсовую работу

- В технологической печи АВТ ведется нагрев потока отбензиненного сырья с расходом G_c = 65 т/ч. Температура сырья на входе в печь t_c=110°С. Доля отгона составляет e = 0,3. Плотность сырья $\rho_c = 850$ кг/м^3, плотность отгона $\rho_{отг} = 675$ кг/м^3, остатка $\rho_{ост} = 940$ кг/м^3. Температура газов на выходе из печи $t_г = 660$°С. Температура топлива , поступающего на горение t_m = 150 °С.Температура воздуха поступающего в печь $t_{возд} = 200$°С. В качестве тепловой изоляции используется кирпичная кладка, различных материалов (шамотный или диатомитовый кирпич). Температуры наружного воздуха $t_{о.с} = 5$°С.

После технологической печи дымовые газы, являющиеся вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР), поступают в котел-утилизатор, где отдают часть теплоты для получения сухого насыщенного пара. КУ состоит из испарительной поверхности , состоящей из 4-х пакетиков, и экономайзера (происходит подогрев воды до температуры насыщения). Температура питательной воды, поступающей в экономайзер , $t_{п.в} = 35$°С.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

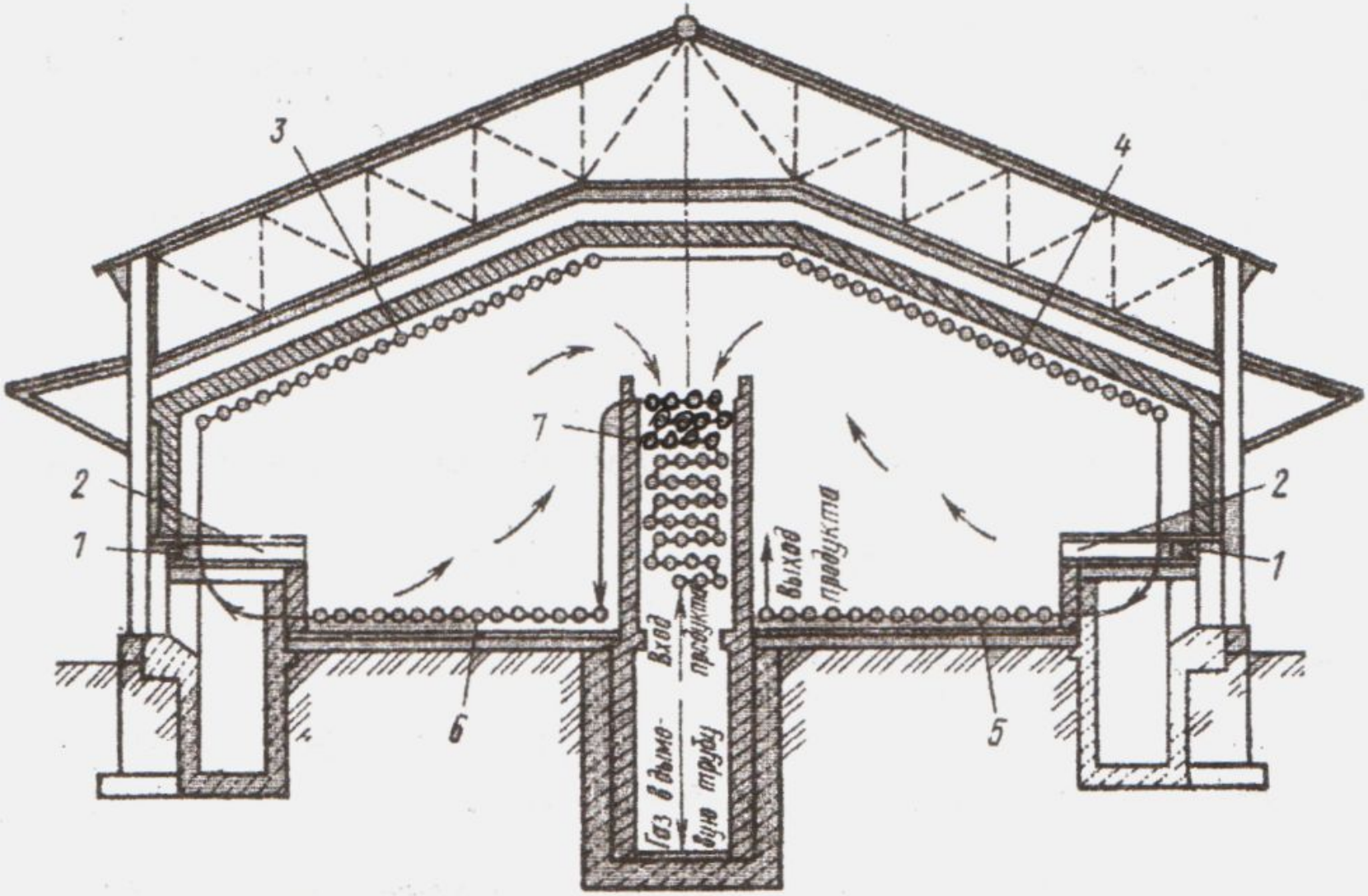
Наименование показателя	Обозначение	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
По последней цифре шифра											
Производительность, т/ч	G_c	60	40	65	85	110	75	50	45	90	60
Температура сырья, °С											
– на входе в печь	t_c	100	120	110	130	90	80	95	105	125	130
– на выходе из печи	$t_{отг}$	300	350	400	410	360	370	330	340	380	410
Доля отгона	e	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4
Плотность при 20°С, кг/м^3											
– сырья	ρ_c	870	860	850	860	870	840	830	850	840	820
– отгона	$\rho_{отг}$	790	710	675	785	820	790	760	775	723	730
– остатка	$\rho_{ост}$	950	960	940	910	920	915	900	930	890	880
По предпоследней цифре шифра											
Температура воздуха поступающего в печь, °С	$t_{возд}$	20	100	20	150	20	200	20	150	200	200
Температура газов на выходе из печи, °С	$t_г$	650	600	600	750	550	600	650	580	700	660
Вид топлива		газ	газ	газ	мазут	газ	мазут	газ	газ	газ	мазут
Температура топлива,°С	$t_т$	20	20	20	100	20	120	20	20	20	150
Температура питательной воды, °С	$t_{п.в.}$	20	30	40	25	50	40	45	15	10	35
Температура наружного воздуха	$t_{о.с}$	30	25	40	35	33	10	15	20	25	5
Вид и толщина тепловой изоляции печи, м	$\delta_{ст}$	Диатомитовый кирпич 0,115					Шатомный кирпич 0,230				

2 ПОЛЕЗНАЯ ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА ПЕЧИ

Трубчатые печи широко распространены в химической, нефтяной, и нефтеперерабатывающей промышленности и применяются для таких технологических процессов, как термический и каталитический крекинг, перегонка нефти, очистка масел (рисунок 1). Трубчатые печи являются наиболее энергоемким оборудованием установок переработки нефти, на их долю приходится до 50% общего энергопотребления предприятия. Кроме того, трубчатые печи-потенциально огнеопасный и взрывоопасный объект, поэтому вопросы эксплуатации печей, их технического состояния, регулирования нагрева и противоаварийная защита с каждым годом становятся все актуальнее.

В трубчатых печах сжигается топливо со значительным содержанием сернистых соединений, отсюда до 50% общезаводских вредных выбросов (SO_2, SO_3, NO_X и др.) содержатся в продуктах сгорания, выбрасываемых дымовыми трубами печей.

Важным моментом является экономия топлива. Для этих целей используются современные энергетические установки, использующие тепло вторичных энергетических ресурсов.



1 – форсунки; 2 – муфели; 3, 4 – потолочные экраны;
5, 6 – подовые экраны; 7 – конвекционная камера

Рисунок 1 – Схема двухкамерной трубчатой печи

2.1 Полезную тепловую нагрузку рассчитывают по формуле , кВт:

$$Q_{\text{пол}}^{c} = G_c * [h_{\text{ост}} * (1 - e) + h_{\text{отг}} * e - h_c],$$

где G_c – расход сырья, кг/с;

e – массовая доля отгона на выходе из печи;

h_c – удельная энтальпия жидкой и паровой фаз нефтепродукта на выходе из печи, кДж/кг.

2.2 Энтальпия жидкого нефтепродукта определяется по формуле, кДж/кг:

$$h_{\text{ж}} = \frac{(0{,}0017 * t_{\text{ж}}^2 + 1{,}68 * t_{\text{ж}})}{0{,}00915 + 0{,}9943 * \rho'_{20}},$$

где ρ'_{20} – плотность жидкости для температуры 20°С, отнесенная к плотности воды при 4°С($\rho'_{20} = \rho_{20}/1000$);

$t_{\text{ж}}$ – температура жидкой фазы, при которой определяется энтальпия ($t_{\text{ж}} = t_c$- для сырья; $t_{\text{ж}} = t_{\text{ост}}$- для остатка нефтепродукта).

2.3 Энтальпия углеводородных газов и паров при невысоких давлениях определяется по формуле, кДж/кг

$$h_{\text{отг}} = (0{,}000584 * t_{\text{отг}}^2 + 0{,}457 * t_{\text{отг}} + 210) * (4{,}013 - \rho'_{20}) - 309.$$

3 Расчет процесса горения топлива в печи

3.1 Низшая теплота сгорания определяется по формулам:

-для газообразного топлива, кДж/м^3:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 358{,}2 * CH_4 + 637{,}5 * C_2H_6 + 912{,}5 * C_3H_8 + 1187 * C_4H_{10} + \\ +1461 * C_5H_{12} + 591 * C_3H_4 + 860 * C_3H_6 + 1135 * C_4H_8 + 108 * \\ * H_2 + 126{,}4 * \text{CO} + 234 * H_2S\,,$$

где CH_4, C_2H_6, H_2, CO, H_2S и т.д. – объемное содержание газов, входящих в состав газообразного топлива, % объемный (приложение А).

-для жидкого и твердого топлива, кДж/кг:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 339 * \text{C}^{\text{P}} + 1030 * H^P + 109 * (O^P - S^P) - 25 * W^P,$$

где C^P, H^P, O^P, S^P, W^P- содержание углерода, водорода, кислорода, серы и влаги в топливе (элементарный состав), % массовый (приложение Б).

3.2 Теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания:

- для 1нм^3 газообразного топлива, м^3/м^3:

$$V_0 = 0{,}0476 * \left[0{,}5 * (CO + H_2) + 1{,}5 * H_2S + \Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right) * C_mH_n - O_2\right],$$

где H_2, CO, H_2S, C_mH_n и т.д.- объемное содержание газов, входящих в состав газообразного топлива, % объемный;

-для 1 кг жидкого и твердого топлива, м^3/кг:

$$V_0 = 0{,}0899 * (C^P + 0{,}375 * S^P) + 0{,}265 * H^P - 0{,}0333 * O^P,$$

4 Коэффициент избытка воздуха

Для обеспечения полноты сгорания топлива воздух в печь подается с избытком по сравнению с теоретически необходимым:

$$\alpha = \frac{V_{\text{в}}}{V_0},$$

где $V_{\text{в}}$ и V_0 - действительное и теоретическое количество воздуха, отнесенное к 1 кг или 1 м^3 сжигаемого топлива, кг/кг топлива, м^3/м^3 топлива.

При $\alpha < \alpha_{\text{опт}}$ возникает химический недожог, связанный с несовершенством перемешивания топлива с воздухом на выходе из горелки и развитием зон с недостатком кислорода. При $\alpha > \alpha_{\text{опт}}$ наблюдается снижение температуры в зоне горения и замедления реакции окисления. Одновременно уменьшается время пребывания частиц в высокотемпературной зоне ввиду увеличения объемов продуктов сгорания.

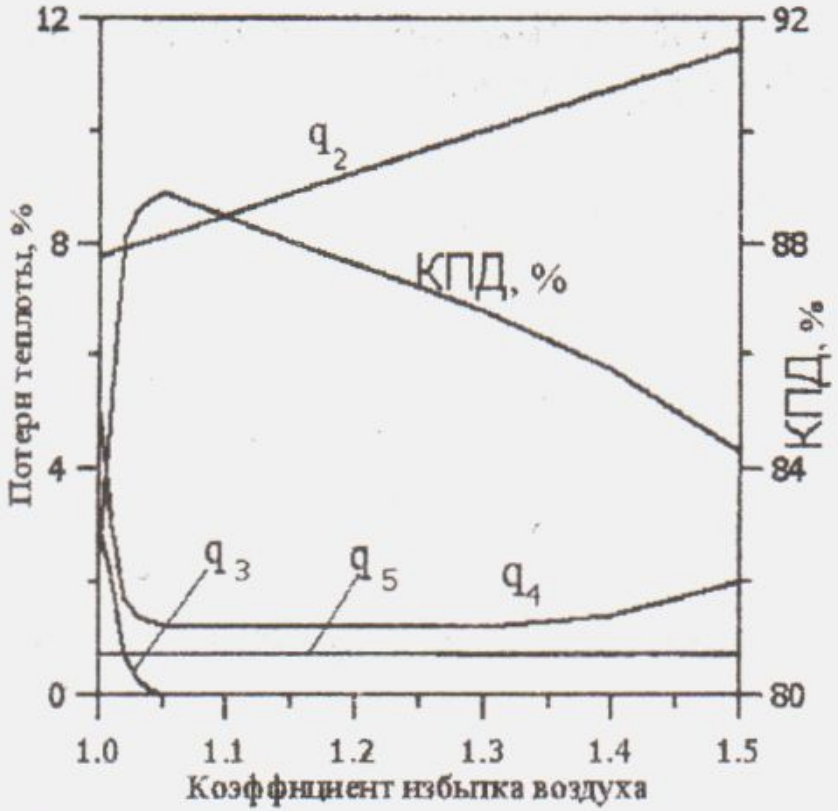


Рисунок 2 – Зависимость потерь теплоты и КПД от коэффициента избытка воздуха

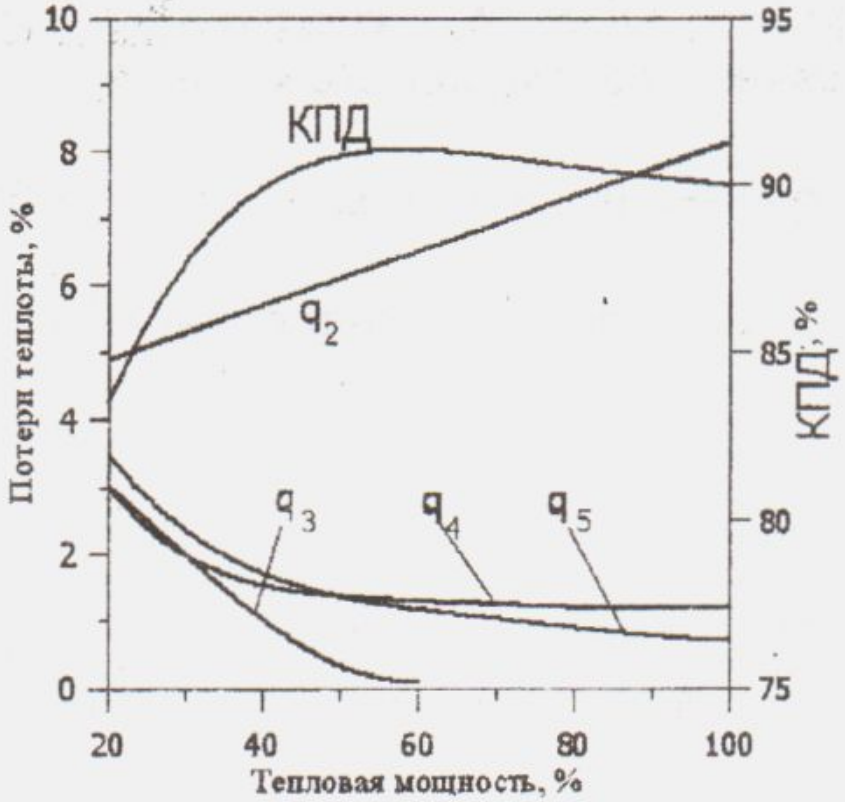


Рисунок 3 – Зависимость потерь теплоты и КПД от тепловой мощности котла

На рисунках 2, 3 показаны зависимости потерь теплоты и КПД от величины коэффициента избытка воздуха.

Таблица 2 – Значение коэффициента избытка воздуха в печи

Вид топлива	Способ сжигания	Коэффициент избытка воздуха
Жидкое	Форсунки с паровым распылом	1,3÷1,4
Жидкое	Форсунки с воздушным распылом	1,1÷1,45
Газообразное	Газовые горелки	1,1÷1,3

конструкции топочного устройства, способа сжигания и др. Рекомендуемые значения коэффициента избытка воздуха приведены в таблице 2.

5 Объем продуктов сгорания

5.1 При сжигании жидкого или твердого топлива количество продуктов сгорания определяется, м^3/кг:

-Объем трехатомных газов (CO_2 и SO_2)

$$V_{RO_2} = 0{,}0187 * (C^P + 0{,}374 * S^P);$$

-объем азота

$$V_{N_2} = 0{,}008 * N^{\text{р}} + 0{,}79 * \alpha * V_0;$$

-объем водяных паров

$$V_{H_2O} = 0{,}111 * H^{\text{р}} + 0{,}124 * W^{\text{р}} + 0{,}0161 * \alpha * V_0 + 1{,}24 * G_{\text{ф.пар}},$$

где $G_{ф.пар}$- удельный расход пара на распыл мазута (обычно составляет 0,3÷0,5 кг пара /кг топлива при использовании паровых форсунок);

-объем кислорода

$$V_{O_2} = 0{,}21 * (\alpha - 1) * V_0;$$

-суммарный объем продуктов сгорания

$$V_{n.c.} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + V_{O_2}.$$

5.2 При сжигании газообразного топлива теоретические объемы продуктов горения определяются, $м^3/м^3$:

-объем трехатомных газов (CO_2 и SO_2)

$$V_{RO_2} = 0{,}01 * (CO_2 + CO + H_2S + S_2O + \Sigma m C_m H_m);$$

-объем азота

$$V_{N_2} = 0{,}01 * N^{\text{р}} + 0{,}79 * \alpha * V_0;$$

-объем водяных паров

$$V_{H_2O} = 0{,}01 * \left(H_2 + H_2S + H_2O + \Sigma\frac{n}{2} * C_mH_m\right) + 0{,}0161 * \alpha * V_0;$$

-объем кислорода

$$V_{O_2} = 0{,}21 * (\alpha - 1) * V_0;$$

-суммарный объем продуктов сгорания (действительных)

$$V_{n.c.} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + V_{O_2}\ .$$

Процентный состав какого-либо компонента в продуктах сгорания определяется из соотношения

$$r_i = \frac{V_i}{V_{n.c.}} * 100\% \Longrightarrow CO_2 = \frac{V_{co_2}}{V_{n.c}} * 100\% \text{ и т. д.}$$

6 Энтальпия продуктов сгорания

- В технологической печи АВТ ведется нагрев потока отбензиненного сырья с расходом G_c = 65 т/ч. Температура сырья на входе в печь t_c=110°С. Доля отгона составляет e = 0,3. Плотность сырья $\rho_c = 850$ кг/м^3, плотность отгона $\rho_{отг} = 675$ кг/м^3, остатка $\rho_{ост} = 940$ кг/м^3. Температура газов на выходе из печи $t_г = 660$°С. Температура топлива , поступающего на горение t_m = 150 °С.Температура воздуха поступающего в печь $t_{возд} = 200$°С. В качестве тепловой изоляции используется кирпичная кладка, различных материалов (шамотный или диатомитовый кирпич). Температуры наружного воздуха $t_{о.с} = 5$°С.

После технологической печи дымовые газы, являющиеся вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР), поступают в котел-утилизатор, где отдают часть теплоты для получения сухого насыщенного пара. КУ состоит из испарительной поверхности , состоящей из 4-х пакетиков, и экономайзера (происходит подогрев воды до температуры насыщения). Температура питательной воды, поступающей в экономайзер , $t_{п.в} = 35$°С.

7 построение H-t диаграммы продуктов сгорания

- H – t диаграмма (зависимость энтальпии газов от температуры) используется для графического определения энтальпии продуктов сгорания при различных температурах и заданном избытке воздуха. Для ее построения необходимо пи произвольно выбранных температурах (например, 1000°С и 2000°С) рассчитать энтальпию газов (отнесенных на 1м^3 дымовых газов), кДж/кг (кДж/м^3):

$$H_{n.c.} = \frac{h_{n.c.}^{t}}{V_{n.c.}}, \qquad (6.1)$$

где $h_{n.c.}^{t}$- энтальпия продуктов сгорания по формуле (5.1) при задаваемых температурах. Расчетные точки построить в системе координат H-t на миллиметровой бумаге и соединить линейной зависимостью. Пример построения H-t диаграммы продуктов сгорания приведен на рисунке 4.

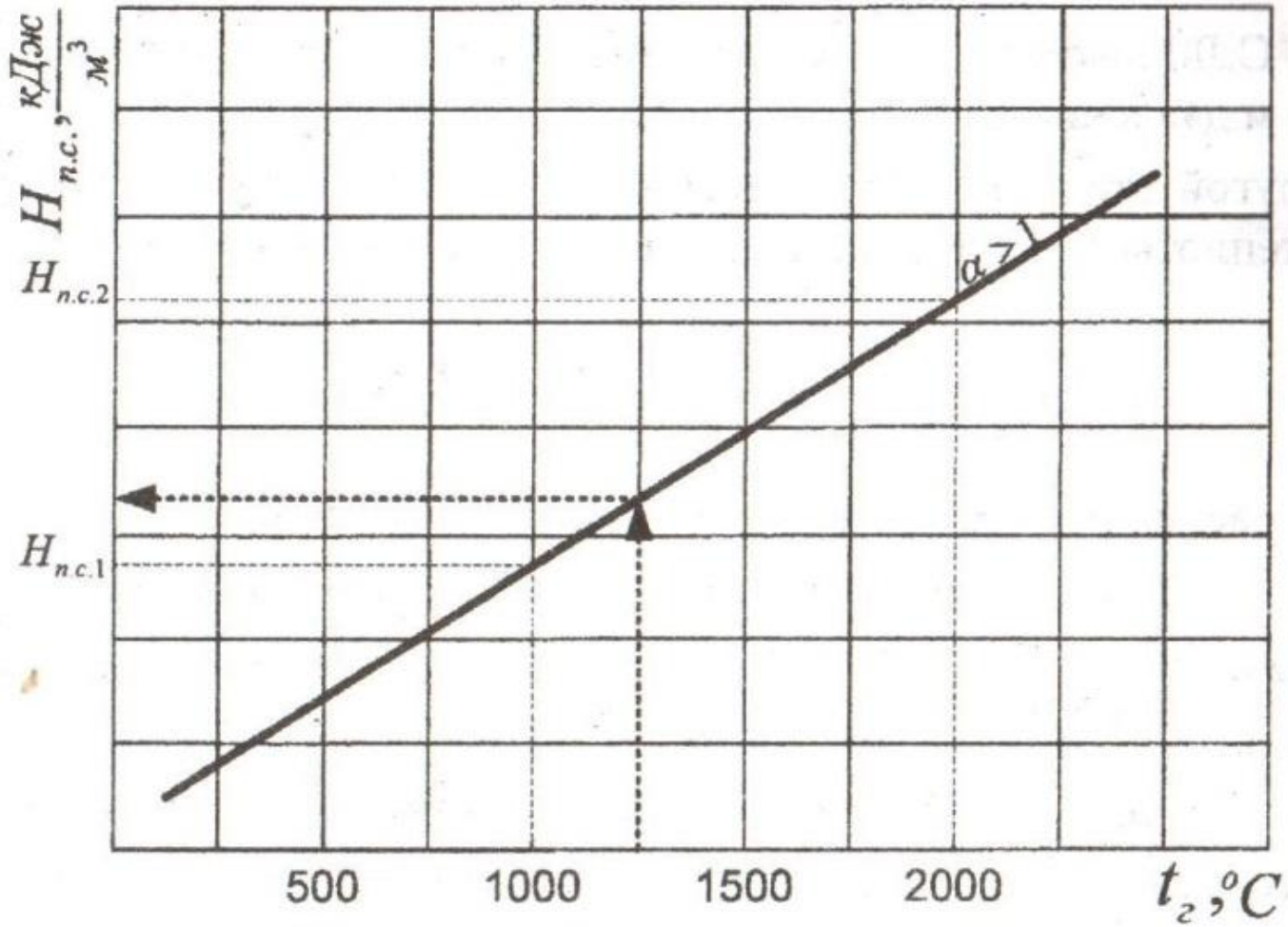


Рисунок 4 – $H - t$ диаграмма продуктов сгорания

8 Тепловой баланс процесса горения

Эффективность использования топлива в топочном устройстве определяется двумя основными факторами: полнотой сгорания топлива в топочной камере и глубиной охлаждения продуктов сгорания.

Распределение вносимой в топку теплоты на полезно используемую и тепловые потери производится путем составления теплового баланса. Тепловой баланс составляется на 1 кг твердого или жидкого топлива либо на 1 м^3 газообразного топлива.

8.1 Низшая теплота сгорания, кДж/кг (кДж/м^3):

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$$

8.2 Теплота, вносимая в топку воздухом, подогретым вне котла, кДж/кг (кДж/м^3):

$$Q_{\text{возд}} = h_{\text{возд}}^{\alpha}$$

- **8.3** Физическая теплота топлива, определяемая его температурой, кДж/кг (кДж/м^3):

$$Q_m = C_m \cdot t_m \ ,$$

здесь C_m - удельная теплоемкость топлива, кДж/(кг·К) (для жидкого топлива принять C_m=1,9 кДж/(кг·К)); t_m - температура топлива, °С;

8.4 Теплота форсуночного пара, кДж/кг (кДж/м^3):

$$Q_{\text{пар}} = G_{\text{ф.пар}} \cdot \left(h_{\text{пар}} - r\right),$$

здесь $h_{\text{пар}}$ - энтальпия пара, поступающего к форсункам, кДж/кг; r – теплота парообразования, кДж/кг. Численные значения $h_{\text{пар}}$ и r принять по таблицам справочник ≪ Термодинамические свойства воды и водяного пара ≫ под редакцией С.Л.Ривкина, А.А.Александрова, при температуре перегретого пара $t_{\text{пар}} = 200$°С и давлении избыточного пара $P_n^{\text{изб}} = 2$ кгс/см^2.

8.5 Располагаемая теплота, кДж/кг (кДж/м^3):

$$Q_{\text{расп}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{возд}} + Q_m + Q_{\text{пар}}$$

- **8.6** Энтальпия воздуха при температуре окружающей среды

$$h_{\text{возд}}^{\alpha} = \alpha \cdot V_0 \cdot h_{\text{возд}},$$

где $h_{\text{возд}}$ - энтальпия воздуха, принимается в зависимости от температуры по таблице **приложения В.**

8.7 Потеря теплоты с уходящими газами, %:

$$q_{\text{ух.газ}} = \frac{h_{n.c.} - h_{\text{возд}}^{\alpha}}{Q_{\text{расп}}} \cdot 100\%,$$

8.8 Потеря теплоты через ограждения ($Q_{\text{о.с.}}$) при установившемся режиме определяются по уравнению теплопередачи через плоскую стенку (кВт):

$$Q_{\text{о.с.}} = \frac{(t_{\text{ст.внут.}} - t_{\text{о.с.}}) \cdot F_{\text{ст}} \cdot 10^{-3}}{R_k},$$

где $t_{\text{ст.внут.}}$ - температура внутренней стенки, °С. Принять $t_{\text{ст.внут.}}$=200°С;
$t_{\text{о.с.}}$ - температура наружного воздуха, °С.

- $F_{ст}$ - площадь наружной поверхности стенок, м^2. Размеры печи по внешней стороне (Д×Ш×В=10×6×5). Тепловые потери определить со стороны свода и боковых сторон (потерями через под печи пренебречь).

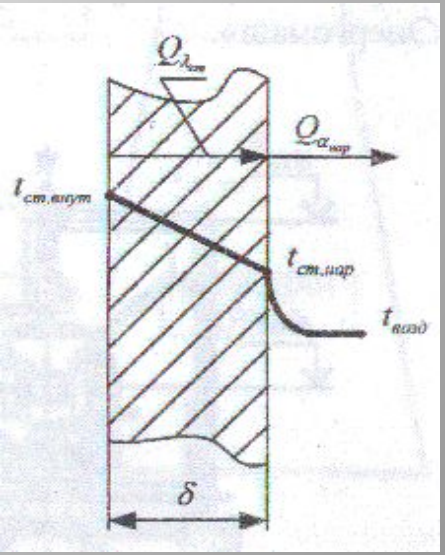
R_k - термическое сопротивление теплопередаче, (м^2 · К)/Вт. Определяется по формуле

$$R_k = \sum_{n}^{i=1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{нар}},$$

где δ_i - толщина i-го слоя кладки,м;

λ_i - коэффициент теплопроводности материала i-го слоя кладки, Вт/(м·К);

Значение коэффициентов теплопроводности слоев определяется при средних температурах по формуле:



- для слоя шатомного кирпича

$$\lambda_{ст} = 0{,}698 + 0{,}00064 \cdot t_{ст}^{ср};$$

- для слоя диатомитового кирпича

$$\lambda_{ст} = 0{,}145 + 0{,}000314 \cdot t_{ст}^{ср},$$

- где $t_{\text{ст}}^{\text{ср}} = \frac{t_{\text{ст.внут.}} + t_{\text{ст.нар.}}}{2}$ – средняя температура внутри слоя.

$\alpha_{\text{нар}}$ - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки в окружающую среду, Вт/(м·К). Определяется по формуле

$$\alpha_{\text{нар}} = 9{,}3 + 0{,}058 \cdot t_{\text{ст.нар}},$$

где $t_{\text{ст.нар}}$ – температура наружной поверхности стенки.

Расчет температуры наружной поверхности стенки производится из равенства тепловых потоков через теплопроводность и теплоотдачу:

$$Q_{\lambda_{\text{ст}}} = Q_{\alpha_{\text{нар}}} \Rightarrow \frac{(t_{\text{ст.внут.}} - t_{\text{ст.нар.}})}{\lambda_{\text{ст}}/\delta_{\text{ст}}} = \alpha_{\text{нар}} \cdot (t_{\text{ст.внут.}} - t_{\text{ст.нар.}}).$$

8.9 Расход топлива, кг/с, м^3/с:

$$\text{В} = \frac{Q_{\text{пол}}^{\text{с}} + Q_{\text{о.с.}}}{(1 - q_{\text{ух.газ}}) \cdot Q_{\text{расп}}}$$

- Тогда $q_{\text{о.с.}} = \frac{Q_{\text{о.с.}}}{\text{В} \cdot Q_{\text{расп}}} \cdot 100\%$.

8.10 Коэффициент полезного действия печи, %

$$\eta_n = 100 - q_{\text{ух.газ}} - q_{\text{о.с.}}$$

8.11 Проверка теплового баланса

$$\text{В} \cdot Q_{\text{расп}} = Q^{\text{с}}_{\text{пол}} + Q_{\text{о.с.}} + \text{В} \cdot (Q_{\text{ух.газ}} + Q_{\text{н.с.}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{шлак}})$$

где $Q_{\text{ух.газ}}$ – потеря теплоты с уходящими газами; $Q_{\text{н.с.}}$ – потеря теплоты с химической неполнотой сгорания топлива; $Q_{\text{мех}}$ – потеря теплоты в окружающую среду через ограждения печи (стены, пол, свод и т.д.); $Q_{\text{шлак}}$ – потеря теплоты с физической теплотой шлака (для жидкого и газообразного топлива $Q_{\text{шлак}} = 0$).

Находим относительную погрешность, %

$$\Delta = \frac{/\, Q^{\text{с}}_{\text{пол}} + Q_{\text{о.с.}} + \text{В} \cdot (Q_{\text{ух.газ}} + Q_{\text{н.с.}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{шлак}}) - \text{В} \cdot Q_{\text{расп}} \,/}{Q^{\text{с}}_{\text{пол}} + Q_{\text{о.с.}} + \text{В} \cdot (Q_{\text{ух.газ}} + Q_{\text{н.с.}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{шлак}})}$$

9 Подбор котла утилизатора

Для утилизации физического тепла дымовых газов, выходящих после технологических печей, применяются котлы-утилизаторы (КУ). Эго позволяет получить дополнительную продукцию в виде насыщенного или перегретого пара, горячей воды и приводит к экономии топлива на предприятии. На рисунке 5 представлен чертеж котла-утилизатора КУ-40-2М производства ОАО «Энергомаш».

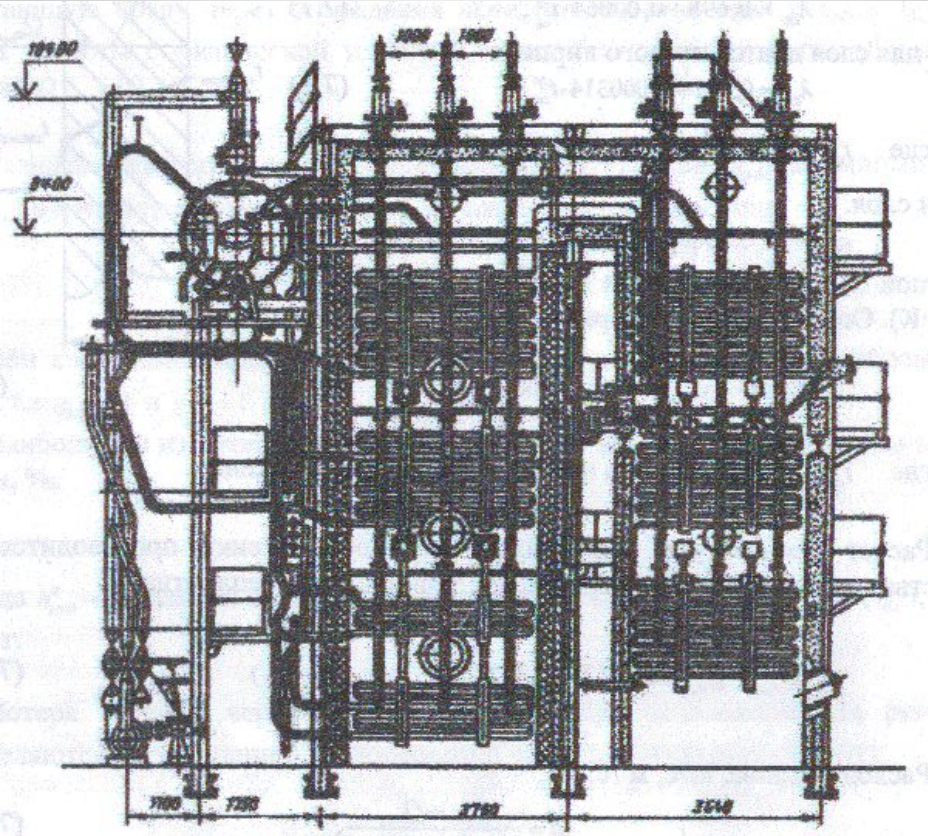


Рисунок 5 – Схема котла-утилизатора КУ-60-2М

- **9.1** Общее количество дымовых газов, нм^3/ч:

$$V_г = В \cdot V_{n.c.} \cdot \frac{(273+t_г)}{273} \cdot 3600,$$

где $t_г$ – температура уходящих газов из печи;

$V_{n.c.}$ – объем продуктов сгорания при сжигании 1 кг или 1 м^3 газообразного топлива, м^3/кг, м^3/м^3.

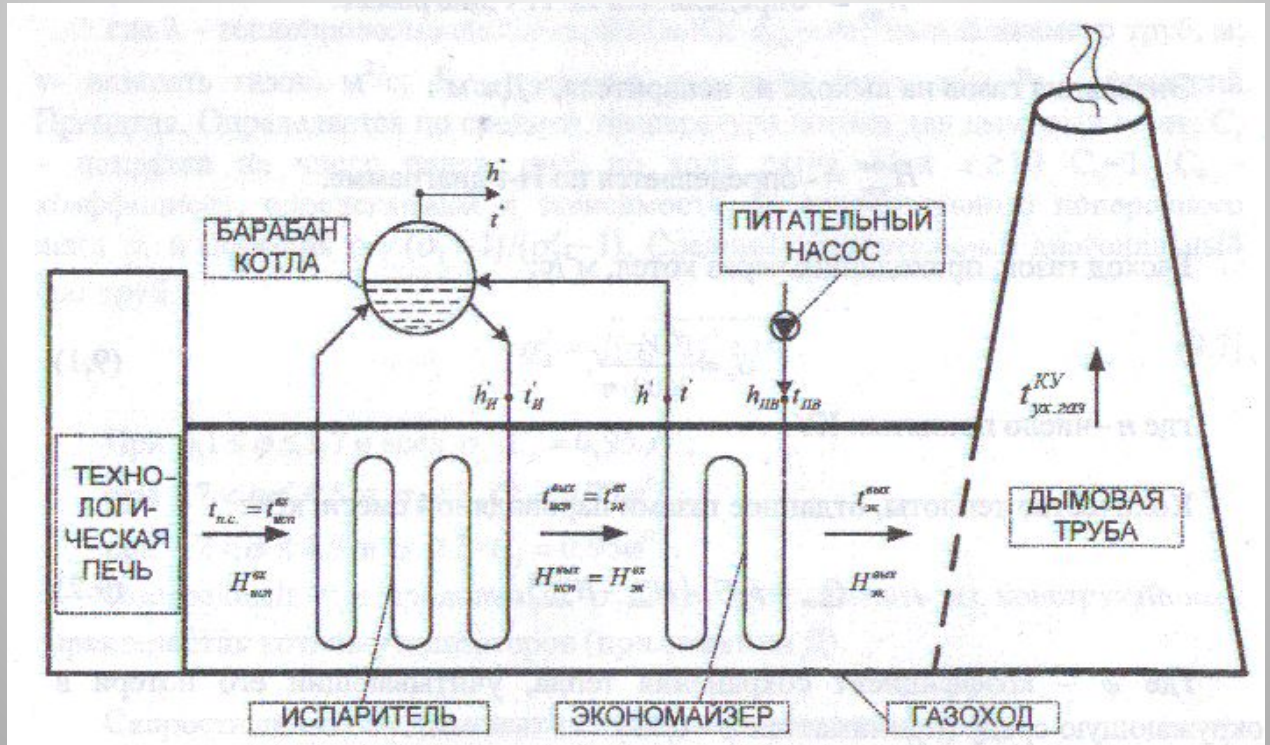


Рисунок 6 – Принципиальная схема котла-утилизатора

- По заданной температуре дымовых газов после печи и объему продуктов сгорания подбирается тип котла-утилизатора (из **приложения Д**), рассчитывается их число для параллельного включения и выписываются технические характеристики выбранного КУ в таблицу 3.

Теплофизические параметры воды и водяного пара на линии насыщения при температуре t_s и давлению пара ($p_{изб} = 18$ кгс/см^2) выписать из справочника «Термодинамические свойства воды и водяного пара» под редакцией С.Л.Ривкина, А.А. Александрова.

Таблица 3 – Технические характеристики выбранного котла-утилизатора

Тип КУ и их количество	Расход дымовых газов, нм^3/с	Давление пара, МПа	Температура, °С			Площадь нагрева, м^2		Площадь живого сечения для прохода продуктов сгорания, м^2	
			газов перед котлом	насыщенного пара	питательной воды	Испарительный пакет	Экономайзер	Испарительный пакет	Экономайзер

Приложение А

Объемный состав топливного газа, %

Номер варианта *	Наименование газа	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO	H_2S	CO_2
0	Уренгой-Ужгород	98,9	0,12	0,01	0,01		0,9	0,06		
1	Тэбук-Сосновка	48,2	18,2	11,9	3,3	1,0	16,5	0,9		
2	Средняя Азия-Центр	94,08	2,8	0,73	0,3	0,09	1,0	1,0		
3	Саратов-Москва	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8			0,8
4	Оренбург-Александров Гай	86,43	3,9	1,72	0,87	0,37	6,7	0,01		
5	Кулешова-Самара	58,0	17,2	7,4	2,0	0,5	13,6	0,8	0,5	
6	Бухара-Урал	94,24	3	0,89	0,39	0,3	0,9	0,28		
7	Безенчук-Чапаевск	42,7	19,6	12,6	5,1	1,3	16,9	1,0	0,8	
8	Ярино-Пермь	38,0	25,1	12,5	3,3	1,3	18,7		1,1	
9	Казань-Бугульма	53,6	22,8	6,1	0,9	0,2	15,8	0,2	0,4	

* по последней цифре шифра

Приложение Б

Элементарный состав мазутов

Номер варианта *	Плотность, т/м^3	Элементарный состав, %					
		C^P	H^P	S^P	O^P	A^P	W^P
Мазут марки М-40							
0	0,989	83,029	10,586	2,369	0,696	0,320	3,0
1	0,988	83,346	10,475	2,762	0,320	0,097	3,0
2	0,938	83,293	10,309	2,739	0,484	0,175	3,0
3	0,965	83,809	10,671	1,842	0,600	0,078	3,0
4	0,977	83,904	10,343	2,191	0,494	0,068	3,0
Мазут марки М-100							
5	0,997	82,072	10,375	2,906	1,521	0,126	3,0
6	1,014	83,620	9,696	2,716	0,638	0,330	3,0
7	0,993	83,623	9,987	2,712	0,542	0,136	3,0
8	0,982	82,671	10,144	2,587	1,482	0,116	3,0
9	1,002	84,582	10,479	0,417	1,464	0,058	3,0

* по последней цифре шифра

Приложение В

Энтальпия 1 м^3 дымовых газов и влажного воздуха (кДж/м^3)

t, °C	h_{RO_2}	h_{N_2}	h_{H_2O}	h_{O_2}	$h_{возд}$
100	169	130	151	132	132
200	357	260	304	267	266
300	559	392	463	407	403
400	772	527	626	552	542
500	996	664	794	699	684
600	1222	804	967	850	830
700	1461	946	1147	1005	979
800	1704	1093	1335	1160	1130
900	1951	1243	1524	1319	1281
1000	2202	1394	1725	1478	1436
1100	2457	1545	1926	1637	1595
1200	1717	1695	2131	1800	1754
1300	2976	1850	2344	1963	1913
1400	3240	2009	2558	2127	2076
1500	3504	2164	2779	2294	2239
1600	3767	2323	3001	2461	2403
1700	4035	2482	3227	2629	2566
1800	4303	2642	3458	276	2729
1900	4571	2805	3688	2968	2897
2000	4843	2964	3926	3139	3064

Приложение Г

Физические свойства воздуха и дымовых газов

Температура, °С	Воздух			Дымовые газы среднего состава		
	$\nu \cdot 10^6$, м²/с	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	Pr -	$\nu \cdot 10^6$, м²/с	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	Pr -
0	13,6	2,42	0,7	11,9	2,27	0,74
100	23,5	3,18	0,69	20,8	3,12	0,70
200	35,3	3,89	0,69	31,6	4,00	0,67
300	48,9	4,47	0,69	43,9	4,82	0,65
400	63,8	5,03	0,70	57,8	5,68	0,64
500	73,2	5,60	0,70	73,0	6,54	0,62
600	98,0	6,14	0,71	89,4	7,40	0,61
700	116,0	6,65	0,71	107,0	8,25	0,60
800	136,0	7,12	0,72	126,0	9,13	0,59
900	157,0	7,59	0,72	146,0	9,99	0,58
1000	179,01	8,03	0,72	167,0	10,87	0,58
1100	202,0	8,44	0,72	188,0	11,72	0,57
1200	226,0	8,85	0,73	211,0	12,53	0,56
1300	247,0	9,24	0,73	234,0	13,46	0,55
1400	277,0	9,63	0,73	258,0	14,38	0,54
1500	300,0	10,00	0,73	282,0	15,31	0,53
1600	331,0	10,36	0,74	307,0	16,24	0,52
1700	355,0	10,72	0,74	333,0	17,28	0,51
1800	390,0	11,08	0,74	361,0	18,10	0,50
1900	415,0	11,43	0,74	389,0	18,91	0,49
2000	445,0	11,83	0,74	419,0	19,84	0,49

Приложение Д

Расчетно-конструктивная характеристика конвективных змеевиковых унифицированных КУ

Характеристика	Типоразмер котла	Испарительные пакеты					Пароперегреватель		Экономайзер	Всего котла
		1-й	2-й	3-й	4-й	все пакеты	при давлении 4,5 МПа	при давлении 1,8 МПа		
Расчетная площадь поверхности нагрева F, $м^2$	КУ-40-1	30	109,5	122	110,5	372	43,5		185	600,5
	КУ-60-2	46	173	92	175	586	70		247	903
	КУ-80-3	60	219	244	221	744	87		370	1201
	КУ-100-1	85	285	315	295	980	110		460	1550
	КУ-125	110	370	410	380	1270	144		615	2050
	КУ-150	133,2	415	475	436	1459,2	166		725,1	2350
Число параллельно включенных змеевиков z	КУ-40-1	18	38	38		-	19		12	-
	КУ-60-2	28	60	60		-	30	60	16	-
	КУ-80-3	36	76	76		-	38	76	24	-
	КУ-100-1	40	80	80		-	40	80	24	-
	КУ-125	52	104	104		-	52	104	32	-
	КУ-150	64	120	120		-	60		32	-
Площадь живого сечения для продуктов сгорания $f_{п.с}$, $м^2$	КУ-40-1	4,315	3,17	3,17	2,885	-	3,17		3,18	-
	КУ-60-2	7,0	5,06	5,06	4,63	-	5,06		4,55	-
	КУ-80-3	8,63	6,34	6,34	5,77	-	6,34		6,36	-
	КУ-100-1	10,8	8,04	8,04	7,35	-	8,04		7,67	-
	КУ-125	13,2	10,3	10,3	9,4	-	10,3		9,8	-
	КУ-150	16,6	12,5	12,5	11,5	-	12,5		9,65	-
Площадь живого сечения для пара и воды f, $м^2$	КУ-40-1	0,0096	0,0202	0,0202		-	0,0101	-	0,0063	-
	КУ-60-2	0,0148	0,0318	0,0318		-	0,0159	0,0318	0,0085	-
	КУ-80-3	0,0192	0,0404	0,0404		-	0,0202	0,0404	0,0127	-
	КУ-100-1	0,0212	0,0425	0,0425		-	0,0212	0,0425	0,0127	-
	КУ-125	0,0276	0,0552	0,0552		-	0,0276	0,0552	0,0170	-
	КУ-150	0,0340	0,0636	0,0636		-	0,0318	-	0,0170	-
	Для всех котлов типа КУ									
Диаметр труб $d_{нар}/d_{вн}$, мм	32/26									
Количество рядов труб по ходу ПС, z		12	20	22	22	-	8		3x16	-
Шаги труб по ширине пучка σ_1		172	86				-	-	90	-
Шаги труб по глубине пучка σ_2		70					-	-	-	-