

5. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Для более эффективного использования тепловых ВЭР целесообразно применять метод термодинамического анализа (второго закона термодинамики), позволяющего выявлять в любой системе узлы с наибольшей необратимостью тепловых процессов. Наибольшее распространение получил эксергетический метод термодинамического анализа, который учитывает не только количество, но и качество (температуру, давление и др.) используемых в системе энергоносителей.

Качество тепловых ВЭР определяется эксергией – максимальным количеством теплоты, которое может быть превращено в работу

$$E = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q,$$

где T_0 – температура окружающей среды, К; T – температура тепловых ВЭР, К; Q – мощность тепловых ВЭР, Дж.

Эксергетический КПД утилизации тепловых ВЭР примерно можно определить по формуле:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{1 - T_0/T_2}{1 - T_0/T_1},$$

где T_0 – температура окружающей среды, К; T_1 – температура тепловых ВЭР на входе в утилизатор, К; T_2 – температура полученного теплоносителя на выходе из утилизатора, К.

Отсюда вытекают правила повышения термодинамической эффективности утилизации тепловых ВЭР:

- 1) необходимо стремиться к снижению разности температур между обменивающимися средами;
- 2) необходимо избегать промежуточных ступеней преобразования теплоты;
- 3) необходимо избегать смешения нагревающих сред с разными температурами, а организовывать двухступенчатую схему подогрева.

Основными потерями в котельных установках являются потери теплоты с уходящими газами q_2 , которые в котлах без хвостовых поверхностей, работающих с коэффициентом избытка воздуха отличным от оптимального $\alpha \neq \alpha_{\text{опт}}$, могут достигать 25%. При известных значениях расхода топлива B , температуры уходящих газов t_{yx} , коэффициенте избытка воздуха α и КПД котлоагрегата η рассчитывают значения потерь теплоты с уходящими газами, %:

$$q_2 = \frac{h_{\text{yx}} - h_{\text{xB}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}}} \cdot 100,$$

где h_{yx} – энтальпия уходящих дымовых газов, Дж/кг; h_{xb} – энтальпия поступающего в котел холодного воздуха, Дж/кг; Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг.

При установке воздухоподогревателя за котлом температура газов снизится до значения t'_{yx} . При этом уменьшатся потери теплоты с уходящими газами до значения

$$q'_2 = \frac{h'_{yx} - h_{xb}}{Q_H^p} \cdot 100$$

и возрастет КПД котельного агрегата

$$\eta' = \eta - q_2 + q'_2.$$

Это приводит к снижению расхода топлива:

$$B' = B \frac{\eta}{\eta'}.$$

Количество теплоты, отданное продуктами сгорания, определяется выражением

$$Q = V_{\Gamma} c_{\Gamma} (t_{yx} - t'_{yx}),$$

где V_{Γ} – объем дымовых газов, м³/с.

Площадь поверхности теплообмена определится из выражения

$$F = \frac{Q}{k\Delta t},$$

где температурный напор рассчитывается как

$$\Delta t = \frac{(t'_{yx} - t_{xb}) - (t_{yx} - t_b)}{\ln \frac{t'_{yx} - t_{xb}}{t_{yx} - t_b}},$$

здесь t_{xb} , t_b – температура воды на входе и на выходе из теплообменника.

Задачи для практических занятий

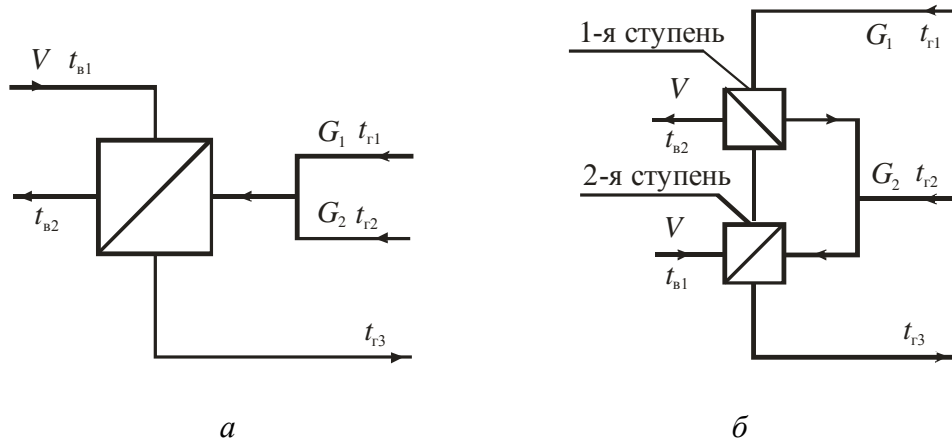
Задача 5.1

В теплообменном аппарате дымовыми газами промышленной печи нагревается вода. Расход дымовых газов $G = 4,2$ кг/с, температура дымовых газов $t_{bx} = 900 - 10 \cdot N$ °С. Расход нагреваемой воды $W = 1,5$ кг/с, температура нагреваемой воды $t_{bx} = 25$ °С. Теплоемкость воды 4,186 кДж/(кг °С), теплоемкость дымовых газов 1,5 кДж/(кг °С). Теплообменная поверхность теплообменника $F = 50 + 5 \cdot N$ м². Коэффициент теплопередачи 40 Вт/(м² °С).

Определите эксергетический КПД теплообменного аппарата для противоточной и прямоточной схемы теплообмена, если температура окружающей среды 15 °С.

Задача 5.2

В теплоутилизационной установке дымовыми газами нагревается вода. Расход нагреваемой воды $V = 100 + 20 \cdot N$ кг/с, температуры воды $t_{в1} = 60^\circ\text{C}$, $t_{в3} = 120 - N^\circ\text{C}$. Расход газов $G_1 = G_2 = 150 + 10 \cdot N$ кг/с, температура дымовых газов $t_{г1} = 200^\circ\text{C}$, $t_{г2} = 150^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопередачи $k = 1000$ Вт/(м²·К), теплоемкость воды 4,186 кДж/(кг·°С), теплоемкость дымовых газов 1,5 кДж/(кг·°С).



Одноступенчатая и двухступенчатая системы утилизации теплоты

Определить общую поверхность теплообмена в одноступенчатой (рисунке, а) и двухступенчатой (рисунке, б) схемах, если принять что в первой ступени дымовые газы охлаждаются до температуры $t_{г2} = 150^\circ\text{C}$.

Задача 5.3

В котле-утилизаторе дымовыми газами промышленной печи нагревается вода. Расход дымовых газов $G = 150 + 10 \cdot N$ кг/с, температура дымовых газов $t_{вх} = 900^\circ\text{C}$, $t_{вых} = 150^\circ\text{C}$. Расход нагреваемой воды $V = 150 + 40 \cdot N$ кг/с, температура нагреваемой воды $t_{вх} = 25^\circ\text{C}$, $t_{вых} = 160 - 3 \cdot N^\circ\text{C}$. Теплоемкость воды 4,186 кДж/(кг·°С), теплоемкость дымовых газов 1,5 кДж/(кг·°С).

Определите энергетический и эксергетический КПД котла-утилизатора, если температура окружающей среды 15°C .

Задача 5.4

В котле-утилизаторе дымовыми газами промышленной печи нагревается вода. Расход дымовых газов $G = 150 + 10 \cdot N$ кг/с, температура дымовых газов на выходе $t_{вых} = 150^\circ\text{C}$. Расход нагреваемой воды $V = 150 + 40 \cdot N$ кг/с, температура нагреваемой воды на входе $t_{вх} = 25^\circ\text{C}$. Теплоемкость воды 4,186 кДж/(кг·°С), теплоемкость дымовых газов 1,5 кДж/(кг·°С). Коэффициент теплопередачи 40 Вт/(м²·°С).

На сколько нужно увеличить поверхность теплообмена F , чтобы получить снижение температуры дымовых газов до 110°C ?

