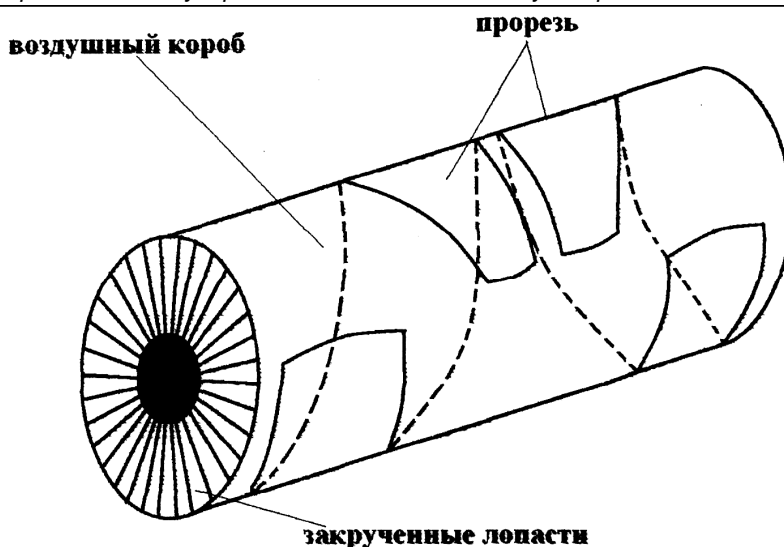


Рис. 3, б. Аэродинамический зональный прерыватель подачи воздуха



ВЫВОДЫ

1. Показаны преимущества прерывистой подачи воздуха в топку перед стационарной.
2. Приведены некоторые конструктивные решения осуществления прерывистой подачи воздуха.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пульсирующее дутье в теплотехнологиях подземной газификации бурых углей/ И.А.Бокун// Энергетика. - 2007. - №1. - С.61-64.
2. Патент РБ №5867 25.10. 2000 Северянин В.Р. Черников И.А.
3. Черников И.А. Повышение эффективности сжигания низкосортных топлив в топках кругового ворошения. – Брест: БрГТУ, 2004. - С. 90-92.

Материал поступил в редакцию 04.04.08

SEVERYANIN V.S., KUSHNERIK V.V. Air Unstability supply in furnace

New construction of air channal in furnace are show to generate unstability gas stream in furnace vilume.

УДК 621.187.142.001.42

Жихар Г.И., Закревский В.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНТАКТНОГО ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

ВВЕДЕНИЕ

В условиях недостаточной обеспеченности Республики Беларусь собственными топливно-энергетическими ресурсами и роста цен на природный газ и мазут экономия топлива является важнейшей задачей энергетики страны.

Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь и Республиканская программа «Энергосбережение» указывают на необходимость изыскания новых экономичных и высокоэффективных технологий использования органического топлива в решении вопросов энергосбережения.

Задачи экономии топлива тесно связаны с проблемой защиты окружающей среды. Для решения задачи экономии топлива и снижения вредных выбросов в окружающую среду применяются контактные экономайзеры при сжигании газообразного топлива. Они позволяют повысить коэффициент использования топлива за счет использования теплоты уходящих газов и снизить выбросы оксидов азота в окружающую среду.

Между тем максимальное использование топлива возможно лишь при охлаждении продуктов сгорания природного газа ниже точки росы, соответствующей 50-60°C, и утилизации не только их физической теплоты, но и скрытой теплоты парообразования содержащихся в газах водяных паров, составляющей около 12-15% низшей теплоты сгорания топлива.

Принцип действия контактных водяных экономайзеров заключается в подогреве воды горячими продуктами сгорания при непосредственном их соприкосновении, т.е. при отсутствии разделительных стенок между теплоносителями и подаче воды в поток дымовых газов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И АНАЛИЗ ТЕПЛОМАСООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ В КОНТАКТНЫХ ВОДЯНЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРАХ

Тепло- и массообмен между дымовыми газами и водой при их непосредственном соприкосновении происходит благодаря разности температур и парциальных давлений водяных паров [1-3].

В общем случае по высоте контактной камеры экономайзера образуются три зоны по ходу движения газов.

Первая зона – это испарение при постоянной температуре воды (зона установившегося испарения).

Вторая зона – это испарение при изменении температуры воды.

Третья зона – это конденсация.

Процесс в каждой зоне отличается от процессов, протекающих в других зонах как качественно, так и количественно.

Баланс теплоты для каждой зоны может быть записан в следующем виде

$$Q_r = Q_B + Q_5, \quad (1)$$

где Q_r - теплота, отданная газами, кДж/ч;

Q_B - теплота, воспринятая водой, кДж/ч;

Q_5 - потери теплоты в окружающую среду, кДж/ч.

Теплота, отданная газами, равна

$$Q_r = Q_r^{\Phi} + Q_{г.в.}^{\Pi},$$

Жихар Г.И., доктор технических наук, профессор Белорусского национального технического университета.

Закревский В.А., аспирант Белорусского национального технического университета.

пр. Независимости, 65, БНТУ, 220013, г. Минск, Беларусь.

где Q_{Γ}^{Φ} - физическая теплота, отданная газами, кДж/ч;

$Q_{\Gamma.В.}^{\Pi}$ - теплота конденсации части водяных паров из дымовых газов или испарения части воды, кДж/ч.

Если идет конденсация части водяных паров из дымовых газов, то будет Q_{Γ}^{Π} , а при испарении части воды соответственно Q_{Γ}^{Π} .

Физическая теплота, отданная газами, равна

$$Q_{\Gamma}^{\Phi} = Q_{\Gamma}^{\Phi.с.} + Q_{\Gamma}^{\Phi.м.},$$

где $Q_{\Gamma}^{\Phi.с.}$ - физическая теплота, отданная сухими газами, кДж/ч;

$Q_{\Gamma}^{\Phi.м.}$ - физическая теплота, отданная водяными парами, кДж/ч.

Количество теплоты, воспринятое водой, пренебрегая потерями теплоты в окружающую среду, определяется по формуле:

$$Q_{\text{В}} = Q_{\text{В}}^{\Phi} + Q_{\text{В.Г.}}^{\text{К}},$$

где $Q_{\text{В}}^{\Phi}$ - теплота, воспринятая исходной водой, кДж/ч;

$Q_{\text{В.Г.}}^{\text{К}}$ - физическая теплота конденсата, воспринятая водой ($Q_{\text{В}}^{\text{К}}$) или физическая теплота испаренной воды, воспринятая газами ($Q_{\Gamma}^{\text{К}}$).

Следовательно, уравнение теплового баланса для каждой зоны в общем случае запишется следующим выражением

$$Q_{\Gamma}^{\Phi.с.} + Q_{\Gamma}^{\Phi.м.} + Q_{\Gamma.В.}^{\Pi} = Q_{\text{В}}^{\Phi} + Q_{\text{В.Г.}}^{\text{К}} + Q_5. \quad (2)$$

Поскольку контактный экономайзер теплоизолирован и наружная температура его стен невелика, то величиной потерь в окружающую среду Q_5 в первом приближении можно пренебречь.

Примем энтальпию водяных паров в зависимости от температуры по уравнению:

$$h_{\text{п}} = 2501,4 + 1,8855t, \text{ кДж/кг [4].}$$

Подставим значения величин, входящих в последнее уравнение, и запишем уравнение теплового баланса для каждой зоны в развернутом виде, далее просуммируем левые и правые части этих уравнений и, сделав математические преобразования и упрощения, тепловой баланс контактной камеры в развернутом виде запишется следующим выражением:

$$\begin{aligned} & G_{\text{с.г.}} C_{\text{с.г.}} (t_{\Gamma}^{\text{H}} - t_{\Gamma}^{\text{K}}) + G_{\text{с.г.}} \cdot 1,8855 (x_{\text{H}} t_{\Gamma}^{\text{H}} - x_{\text{K}} t_{\Gamma}^{\text{K}}) + \\ & + G_{\text{с.г.}} t_{\text{В}}^{\text{M}} (x_{\text{M}} - x_{\text{H}}) + G_{\text{с.г.}} \cdot 2501,4 (x_{\text{M}} - x_{\text{K}}) = \\ & = W_{\text{H}} (t_{\text{В}}^{\text{K}} - t_{\text{В}}^{\text{H}}) + G_{\text{с.г.}} \cdot 2501,4 (x_{\text{M}} - x_{\text{H}}) + G_{\text{с.г.}} t_{\text{р}}^{\text{M}} (x_{\text{M}} - x_{\text{K}}), \end{aligned}$$

где x_{M} - максимальное в ходе данного процесса влагосодержание газов, кг/кг;

$t_{\text{р}}^{\text{M}}$ - вторая точка росы, °С;

W_{H} - начальный расход воды, кг/ч;

$t_{\text{В}}^{\text{K}}$ и $t_{\text{В}}^{\text{H}}$ - начальная и конечная температуры воды, °С;

t_{Γ}^{H} и t_{Γ}^{K} - начальная и конечная температуры газов, °С;

$x_{\text{H}}, x_{\text{K}}$ - начальное и конечное влагосодержание, отнесенное к 1 кг сухих газов, кг/кг;

$G_{\text{с.г.}}$ - расход сухих газов, кг/ч;

$C_{\text{с.г.}}$ - средняя весовая теплоемкость сухих газов в интервале

температур $t_{\Gamma}^{\text{H}} - t_{\Gamma}^{\text{K}}$.

В общем виде это уравнение можно записать

$$Q_{\Gamma}^{\Phi} + Q_{\Gamma}^{\text{К}} + Q_{\Gamma}^{\Pi} = Q_{\text{В}}^{\Phi} + Q_{\text{В}}^{\text{К}} + Q_{\text{В}}^{\text{M}}. \quad (4)$$

При различных значениях величин, входящих в это уравнение, значение первичной точки росы $t_{\text{р}}$ и вместе с этим значения x_{M} и $t_{\text{р}}^{\text{M}}$ будут меняться. Например, при $x_{\text{M}} = x_{\text{H}}$, когда по всей высоте контактной камеры происходит конденсация водяных паров, т.е. имеется только третья зона и когда $t_{\Gamma}^{\text{H}} < t_{\Gamma}^{\text{K}} \leq t_{\text{р}}$, это уравнение примет вид

$$Q_{\Gamma}^{\Phi} + Q_{\Gamma}^{\Pi} = Q_{\text{В}}^{\Phi} + Q_{\text{В}}^{\text{K}}. \quad (5)$$

Если $x_{\text{M}} = x_{\text{K}}$, когда по всей высоте контактной камеры происходит испарение воды, т.е. имеются первая и вторая зоны или только первая зона, когда $t_{\text{р}} \leq t_{\Gamma}^{\text{H}} < t_{\Gamma}^{\text{K}}$, а $t_{\Gamma}^{\text{H}} = t_{\Gamma}^{\text{M}}$ или $t_{\Gamma}^{\text{H}} = t_{\Gamma}^{\text{K}} = t_{\Gamma}^{\text{M}}$, то уравнение теплового баланса запишется в общем виде выражением

$$Q_{\Gamma}^{\Phi} + Q_{\Gamma}^{\text{К}} = Q_{\text{В}}^{\Phi} + Q_{\text{В}}^{\Pi}. \quad (6)$$

В тех случаях, когда $x_{\text{M}} > x_{\text{K}} \gg x_{\text{H}}$ и вначале происходит испарение воды, а затем конденсация водяных паров, т.е. имеются вторая и третья зоны, или первая, вторая и третья зоны и когда $t_{\Gamma}^{\text{H}} < t_{\text{р}} < t_{\Gamma}^{\text{K}} \leq t_{\Gamma}^{\text{M}}$, исходное уравнение сохранит свой вид

$$Q_{\Gamma}^{\Phi} + Q_{\Gamma}^{\text{К}} + Q_{\Gamma}^{\Pi} = Q_{\text{В}}^{\Phi} + Q_{\text{В}}^{\Pi} + Q_{\text{В}}^{\text{K}}. \quad (7)$$

При соприкосновении с водой, подаваемой в контактную камеру, продукты сгорания охлаждаются и в свою очередь нагревают воду. Характер процесса охлаждения продуктов сгорания в контактной камере зависит от конечной температуры нагрева воды на выходе из камеры. Зависимости (1-7) использованы в дальнейшем анализе.

Если конечная температура нагретой воды $t_{\text{В}}^{\text{K}}$ ниже температуры точки росы продуктов сгорания $t_{\text{р}}$, т.е. $t_{\text{В}}^{\text{K}} < t_{\text{р}}$, то в этом случае парциальное давление водяных паров в массе продуктов сгорания будет больше парциального давления водяных паров в пленке над жидкостью. При контакте продуктов сгорания с такой водой они будут охлаждаться до более низкой температуры и непрерывно осушаться, так как парциальное давление водяных паров в массе газов выше парциального давления водяных паров над пленкой воды.

Это значит, что при соприкосновении продуктов сгорания с водой, имеющей температуру ниже их точки росы, будет с самого начала процесса охлаждения использоваться теплота конденсации водяных паров.

Рассмотрим второй режим охлаждения продуктов сгорания в контактной камере, когда они соприкасаются с водой, температура которой выше их точки росы, но ниже температуры мокрого термометра, т.е. $t_{\text{В}}^{\text{K}} > t_{\text{р}}$, но $t_{\text{В}}^{\text{K}} < t_{\text{M}}$.

В данном случае, при охлаждении продукты сгорания будут увеличивать свою влажность, так как парциальное давление водяных паров в них ниже парциального давления водяных паров над пленкой воды с температурой $t_{\text{В}}^{\text{K}}$. Таким образом, происходит охлаждение нагретых газов с одновременным их увлажнением. В дальнейшем продукты сгорания, двигаясь вверх по контактной камере и соприкасаясь с более холодной водой, будут охлаждаться, а влагосодержание постепенно увеличиваться до тех пор, пока парциальное давление водяных паров общей массы газов не станет равным парциальному давлению водяных паров над пленкой воды. Этот момент для газов соответствует «вторичной» точке росы $t_{\text{р}}^{\text{M}}$, при которой вся масса газов становится насыщенной водяными парами. На этом участке кончается зона испарения при переменной температуре воды и начинается зона конденсации. При дальнейшем движении газов вверх по контактной камере температура и влагосодержание продуктов сгорания уменьшается одновременно.

В этом случае сначала происходит увлажнение газов, а затем их осушение. В контактном экономайзере передается не только полез-

ная, но и так называемая обратная теплота, т.е. теплота, затрачиваемая на испарение части воды, а затем возвращаемая при конденсации водяных паров.

Рассмотрим процесс охлаждения продуктов сгорания, когда они соприкасаются с водой, нагретой до температуры мокрого термометра, т.е. $t_B^k = t_M$. В этом случае их охлаждение будет происходить почти при постоянной энтальпии. Это объясняется тем, что вся теплота, передаваемая от газов к воде, возвращается обратно в газовый поток в виде испарившейся воды. В действительности за счет массы воды, испарившейся в нагретые газы, процесс их охлаждения идет по линии мокрого термометра. При этом их энтальпия несколько увеличивается.

В дальнейшем также происходит увлажнение газов, но охлаждение их здесь протекает весьма интенсивно. После точки, в которой состояние продуктов сгорания соответствует второй точке росы t_p'' , процесс охлаждения продуктов сгорания сопровождается конденсацией водяных паров. При этом сначала нагретые газы отдают воде в виде конденсата обратную теплоту, не влияющую на КПД контактного экономайзера, и только после этого происходит конденсация водяных паров, увеличивающих степень использования теплоты уходящих газов и повышающих коэффициент использования топлива.

Из изложенного ясно, что эффективность контактных экономайзеров увеличивается с уменьшением начальной и конечной температуры воды. Поэтому целесообразно, чтобы начальная температура воды была минимально возможной, а конечная температура воды не превышала точку росы, т.е. 50-60°C.

Для предотвращения значительного испарения воды не следует подогревать ее до температуры мокрого термометра. Целесообразно, чтобы предельная температура подогрева воды была

$$t_B^k = t_M - (2 - 3)^\circ\text{C}.$$

На основании наблюдений за потоками в насадочных камерах пришли к заключению, что при противоточном движении фаз в насадке может наблюдаться четыре характерных вида движения потоков [5-8]:

- ✓ капельное движение жидкости от элемента к элементу, наблюдаемое при малых плотностях орошения и небольших скоростях газа, взаимодействие между фазами осуществляется в отдельных точках контакта, в точках соприкосновения отдельных элементов насадки;
- ✓ струйное и пленочное движение жидкости. Жидкость покрывает насадку в виде тонкой пленки, причем значительная доля поверхности остается несмоченной; взаимодействие между фазами происходит на поверхности пленки жидкости и в точках контакта жидкости с отдельными элементами насадки;
- ✓ жидкость стекает по насадке в виде пленки, но доля смоченной поверхности значительно возрастает и сама пленка жидкости турбулизируется; в пленку как бы «вкраплены» вихри; взаимодействие между фазами происходит на поверхности турбулизированной пленки жидкости;
- ✓ жидкость занимает весь свободный объем насадки и завихрена. Газовая фаза диспергирована в жидкости в виде мельчайших пузырьков, которые «эмульгируют» жидкость.

Первый вид движения жидкости ближе всего следует молекулярному движению. Относительное увеличение количества орошения, приводит к пленочному движению, если количество газа относительно невелико, приводит к некоторому торможению газа жидкостью и развитию в нем вихревого движения. В этом режиме движение газового потока не оказывает заметного влияния на развитие турбулентности в жидкой пленке. Такой характер движения потоков отвечает промежуточной области обмена. Турбулентной природе обмена отвечает третий режим, когда турбулизируются не только газовый поток, но и жидкостная пленка. В последних двух режимах поверхность контакта фаз связана с поверхностью пленки жидкости, которая, в свою очередь, зависит от начальной поверхности насадки. Четвертый режим движения потоков соответствует режиму эмульгирования.

Режим эмульгирования это область свободной развитой турбулентности, которая возникает в насадочных камерах после точки инверсии в результате того, что развитие турбулентности в пределах каждой из фаз в объеме насадки приводит к тому, что в турбулентные пульсации вовлекается поверхность раздела фаз.

Когда высота слоя газожидкостной эмульсии будет больше высоты слоя насадки и над насадкой будет накапливаться слой жидкости, представляющий собой барботажный слой с интенсивным перемешиванием, тогда появляется точка захлебывания.

В процессах, близких к захлебыванию контактной камеры, сильное возрастание сопротивления происходит за счет быстрого накопления орошающей жидкости в насадке. С количеством жидкости, удерживаемой в насадке, тесно связана эффективность работы насадочной камеры. При наличии противотока газа изменение скорости газа не оказывает существенного влияния на удерживающую способность насадки до достижения точки инверсии. Выше этой точки удерживающая способность насадки резко возрастает.

Чрезвычайно важным гидродинамическим фактором, определяющим эффективность работы насадочных камер экономайзеров, является также равномерность распределения жидкости по насадке, непосредственно связанная с удерживающей способностью насадки. Чем равномернее распределение жидкости по насадке, тем большая доля поверхности насадки смочена жидкостью и тем большая поверхность контакта между газом и жидкостью.

С увеличением скорости газа неравномерность орошения уменьшается. При достижении скорости газа, отвечающей точке инверсии, распределение жидкости становится по всему сечению контактной камеры равномерным.

Увеличение плотности орошения также способствует более равномерному распределению жидкости по сечению контактной камеры.

Вопрос о смачиваемости насадки и распределении жидкости по насадке полностью снимается, если насадочная камера работает в точке инверсии и выше ее, т.е. в режиме эмульгирования. В этом случае наблюдается равномерное распределение жидкости по всему сечению камеры, и массообмен происходит не на поверхности насадки, а во всем свободном объеме ее.

Существенное влияние на пределы нагрузок контактной камеры и появление критических точек оказывает характер укладки насадки и свободное сечение опорной решетки под насадку.

Во избежание влияния свободного сечения опорной решетки под насадку на пределы нагрузок контактной камеры экономайзера свободное сечение ее должно быть не менее свободного сечения насадки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

Насадочный слой контактной камеры выполнен из керамических трубок с внешним диаметром 28 мм и длиной 500 мм и сложного внутреннего сечения. Керамические трубки покрыты глазурью. Они собраны в кассеты. Нижняя часть насадочного слоя высотой 500 мм выполнена из кассет этих керамических трубок, а верхняя часть высотой 500 мм засыпана внавал кольцами этих трубок.

Во время исследований контактного экономайзера нагрузка котла изменялась от 6,94 кг/с до 13,89 кг/с, а расход воды на контактный экономайзер был в пределах от 2,78 кг/с до 13,89 кг/с.

Исследования показали, что температура уходящих газов после контактной камеры сильно зависит от коэффициента орошения

$$\frac{W}{G_{c.g.}}$$

. Например, при увеличении коэффициента орошения с 0,5 до 2 кг/кг температура уходящих газов за контактной камерой снижается с 51°C до 15°C, при этом температура подогрева воды в контактном экономайзере тоже резко снижается с 36°C до 20°C.

На рис. 1 представлена зависимость влагосодержания в уходящих дымовых газах из контактной камеры d_{yx} от коэффициента орошения.

Из рисунка видно, что с увеличением этого коэффициента влагосодержание в уходящих газах из камеры резко снижается и при коэффициенте орошения более двух может достигать до 10 г/кг. Тепловосприятельность в противоточной контактной камере экономайзера с ростом коэффициента орошения резко увеличивается и при

$$\frac{W}{G_{c.g.}} > 2 \text{ достигает порядка } (2723,5-2807,3) \cdot 10^3 \text{ кДж/ч.}$$

Тепловосприятельность контактной камеры зависит также от плотности орошения H_w . Например, при увеличении плотности орошения с

$$3,1 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \text{ до } 9,6 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

тепловосприятельность контактной камеры увеличивается с $1885,5 \cdot 10^3$ кДж/ч до $2723,5 \cdot 10^3$ кДж/ч.

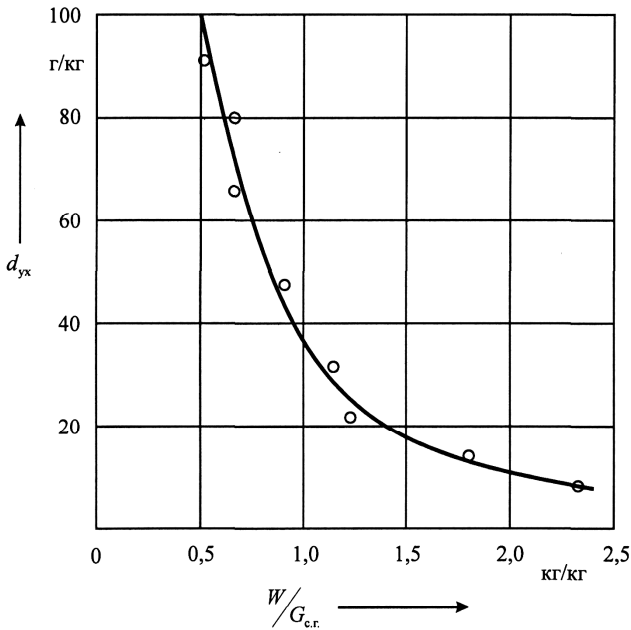


Рис. 1. Зависимость влагосодержания уходящих газов из контактной камеры от коэффициента орошения при начальной температуре воды 7°C

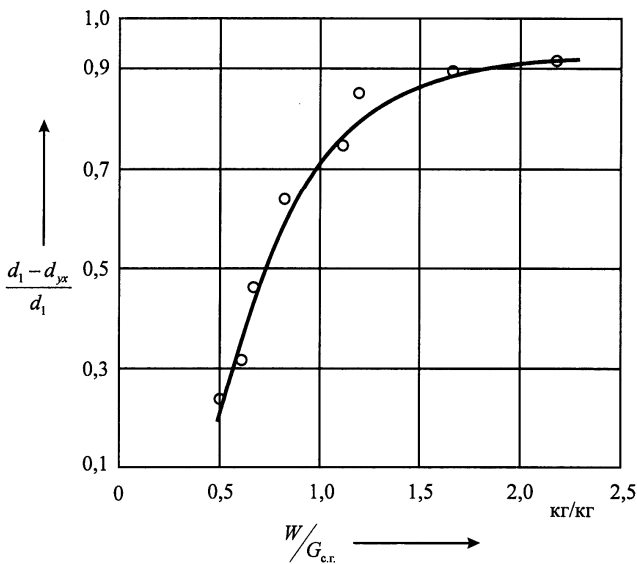


Рис. 2. Осушение парогазовой смеси при контакте ее с водой в зависимости от коэффициента орошения при начальной температуре воды 7°C

На рис. 2 представлена зависимость осушения продуктов сгорания природного газа при контакте их с водой. Из рисунка видно, что при коэффициенте орошения более 2 относительная разность влагосодержания практически не зависит от начального влагосодержания и может быть доведена до 0,93. Это значит, что при высоком начальном влагосодержании конечное может достигнуть 50 г/кг и даже ниже.

Объемный коэффициент теплообмена в контактной камере с увеличением плотности орошения H_w возрастает. Например, с увеличением плотности орошения с $3,1 \frac{M^3}{M^2 \cdot ч}$ до $9,6 \frac{M^3}{M^2 \cdot ч}$ объемный коэффициент теплообмена увеличивается с $3,175 \cdot 10^3 \frac{Вт}{M^3 \cdot К}$ до $4,07 \cdot 10^3 \frac{Вт}{M^3 \cdot К}$.

Объемный коэффициент теплообмена также зависит и от скорости газов в контактной камере. С увеличением скорости газов наблюдается увеличение объемного коэффициента теплообмена. Например, с ростом скорости газов с 2 м/с до 3,5 м/с объемный коэффициент теплообмена увеличивается с $3,175 \cdot 10^3 \frac{Вт}{M^3 \cdot К}$ до $4,07 \cdot 10^3 \frac{Вт}{M^3 \cdot К}$.

На рис. 3 показано изменение аэродинамического сопротивления слоя насадки контактной камеры экономайзера в зависимости от высоты насадки и скорости газов. Как видно из рисунка, с увеличением высоты насадки при одной и той же скорости газов аэродинамическое сопротивление слоя увеличивается. Например, при высоте насадки 1 м и скорости газов 3,4 м/с аэродинамическое сопротивление насадки составляет 1176 Па, а при высоте насадки 1,5 м оно равно 1470 Па. То же наблюдается и при изменении плотности орошения. Например, при высоте слоя 1 м и плотности орошения $7 \frac{M^3}{M^2 \cdot ч}$ аэродинамическое сопротивление слоя насадки составляет 850 Па, а при высоте слоя 1,5 м и при той же плотности орошения соответственно – 1078 Па.

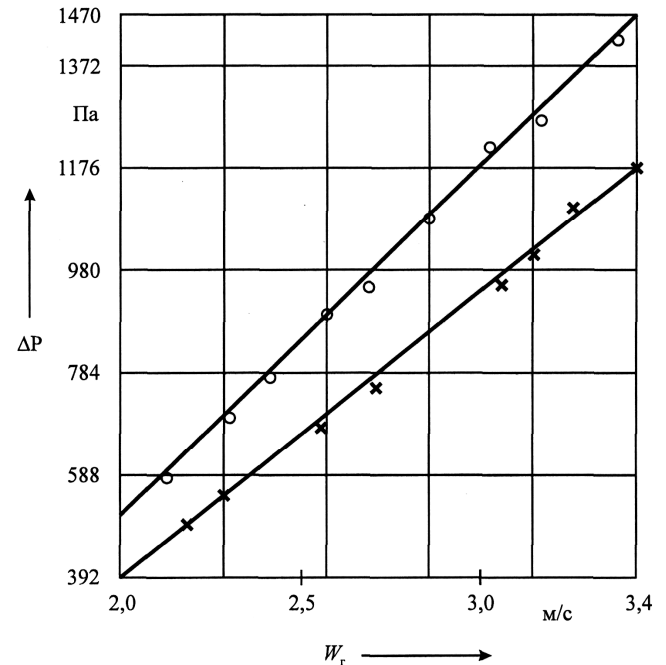


Рис. 3. Сопротивление слоя насадки контактной камеры в зависимости от скорости газов при различной высоте слоя:

- - $H_n = 1,5$ м;
- × - $H_n = 1,0$ м

При обработке полученных экспериментальных данных по сопротивлению насадки получена формула для определения аэродинамического сопротивления слоя новой насадки контактной камеры экономайзера в следующем виде

$$\Delta P = (29,652 H_w W_r + 208,1576) [1 + 0,5(h_{cл} - 1)], \text{ Па}$$

при $h_{cл} = 1 - 1,5$ м.

При расчете контактных экономайзеров необходимо определить конечную температуру воды при данном ее расходе. Для удобства расчетов введено понятие температурного фактора Ψ , представляющего собой отношение разностей температур теплоносителей

$$\Psi = \frac{t_B^K - t_B^H}{t_r^H - t_r^K}$$

где t_r^H и t_r^K - температура газов соответственно начальная и конечная, °С;

t_B^H и t_B^K - начальная и конечная температура воды, °С.

В работе [1] показано, что температурный фактор равен

$$\psi = \frac{0,285}{W/G_{c.g.}} \frac{1}{q_{\phi}}$$

где q_{ϕ} - доля физической теплоты, отданная газами.

Эта доля определяется по уравнению:

$$q_{\phi} = 0,38 \lg \frac{I_H}{d_3} - 2,1 + \left(0,812 - 0,125 \lg \frac{I_H}{d_3} \right) \lg \frac{t_r^H}{x_1}$$

Применительно к нашей набивке доля физической теплоты, отданная газами, будет

$$q_{\phi} = 0,602 \lg \frac{t_r^H}{x_1} - 1,463$$

Используя вышеприведенные зависимости, получена формула для определения температуры воды за контактной камерой в следующем виде

$$t_B^K = t_B^H + \frac{0,285}{W/G_{c.g.} \left(0,602 \lg \frac{t_r^H}{x_1} - 1,463 \right)} \left(t_r^H - t_r^K \right)$$

Конечная температура воды, подогретой в контактной камере, определяется по этой формуле с учетом плотности орошения $W/G_{c.g.}$, начальной и конечной температуры газов на входе и выходе из камеры.

Для определения температуры газов за контактной камерой с новой насадкой получена следующая зависимость

$$t_r^K = \left[t_B^H + \frac{0,285 t_r^H}{W/G_{c.g.} \left(0,602 \lg \frac{t_r^H}{x_1} - 1,463 \right)} - t_B^K \right] \times W/G_{c.g.} \left(0,602 \lg \frac{t_r^H}{x_1} - 1,463 \right) \frac{1}{0,285}$$

По температуре газов за контактной камерой можно определить влагосодержание газов на выходе из контактной камеры по известному градиенту $x_3 = f(t_r)$, зная относительную их влажность, которая в большинстве случаев $\phi_3 \approx 1$.

Эффективность работы контактного экономайзера определяется коэффициентом эффективности

$$E = \frac{h_r^{BX} - h_r^{BYX}}{h_r^{BX} - h_r''}$$

где h_r^{BX} и h_r^{BYX} - энтальпия газов на входе и выходе из контактной камеры экономайзера, $\frac{кДж}{кг \text{ с.г.}}$;

h_r'' - энтальпия насыщенных газов при начальной температуре воды, $\frac{кДж}{кг \text{ с.г.}}$.

Коэффициент эффективности контактного экономайзера представляет собой отношение количества реально использованной теплоты к максимально возможной при данных условиях. В работе [1] установлены условия обеспечения эффективной работы контактной камеры экономайзера следующим образом:

$$\left(\frac{W_1}{G_{c.g.}} \right)_{\text{эф}} = \frac{I_H/d_3}{t_r^{BX} \left(\frac{1}{2,23 t_r^{BX} - 54} \cdot \frac{I_H}{d_3} - \frac{1}{0,078 t_r^{BX} + 6} \right)}$$

Применительно к нашей новой насадке контактной камеры эффективность работы контактного экономайзера определяется по следующей зависимости:

$$\left(\frac{W_1}{G_{c.g.}} \right)_{\text{эф}} = \frac{47,619}{t_r^{BX} \left(\frac{47,619}{2,23 t_r^{BX} - 54} - \frac{1}{0,078 t_r^{BX} + 6} \right)}$$

Сопоставление работы различных контактных камер показало, что наиболее эффективно (при прочих равных режимных условиях) работает контактная камера с неупорядоченной насадкой. Менее эффективной оказывается контактная камера с упорядоченной насадкой.

ВЫВОДЫ

1. Выполнен теоретический анализ работы контактной камеры экономайзера.
2. Получена зависимость для определения температуры воды на выходе из контактной камеры с новой насадкой.
3. Получена зависимость для определения сопротивления слоя новой насадки контактной камеры.
4. Получена формула для определения температуры газов на выходе из контактной камеры с новой насадкой.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пресич Г.А. Условия обеспечения эффективности работы контактных водонагревателей. – В кн.: Санитарная техника. Вып. 10. – Киев. Будівельник, 1971. – С. 62-71.
2. Соснин Ю.П. Основы процессов тепло- и массообмена в контактной камере газового водонагревателя // Газовое дело. – М.: Недра, 1968. - №4. – С. 78.
3. Егоров Н.Н. Охлаждение газов в скрубберах. - М.: Госхимиздат, 1954. – 144 с.
4. Кришер О. Научные основы техники сушки. - М.: Из-во иностранной литературы, 1961. – 540 с.
5. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. – М.: Энергия, 1976. – 224 с.
6. Жаворонков Н.М. Гидравлические основы скрубберного процесса и теплопередача в скрубберах. – М.: Советская наука, 1944. – 224 с.
7. Кафоров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1972. – 494 с.
8. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидродинамика. – М.: Гостеортехиздат. Т.1. 1955. – 284 с.

Материал поступил в редакцию 14.04.08

ZICHAR G.I., ZAKREVSKY V.A. Research of contact water economizer heat engineering indexes

The topical of wing of waste gazes heat in boilers are considering. It is show that condensny of water steam is best method of wing that heat.