

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ МОКРОГО ТУШЕНИЯ КОКСА

Введение. Важной составляющей, которая в значительной мере предопределяет дальнейшее стабильное развитие горно-металлургического комплекса Украины, является снижение потерь теплоты в различных технологических установках. Одним из примеров энергетически несовершенных технологий, используемых на отечественных коксохимических производствах, является технология мокрого тушения кокса, эксплуатация которой ведёт к потере более чем 40 % теплоты затраченной на обогрев реторт коксовой печи, что и обуславливает относительно низкий тепловой КПД коксохимических производств Украины, который, при тепловом КПД коксовой батареи – порядка 84 %, и, с учётом потери 30 % теплоты в процессах охлаждения коксового газа, для комплекса: коксовая батарея – тушильная башня, без утилизации теплоты мокрого тушения, составляет не более 14,6 %.

Помимо потерь теплоты с парогазовыми выбросами тушильных башен в атмосферу попадают загрязняющие вещества такие как: фенол, аммиак, сероводород и др. Анализ известных технических решений в данной области показал, что существующие теплоутилизационные установки парогазовых выбросов мокрого тушения, выполненные на базе перфорированных лотков, обладают сравнительно низким тепловым КПД ($\leq 51,7\%$), к тому же они не решают проблемы загрязнения атмосферы вредными компонентами парогазовых выбросов и создают предприятиям дебаланс по сточным водам [1]. Именно поэтому исследования направленные на разработку новых теплоутилизационных установок, позволяющих обеспечить энергосбережение и повысить уровень экологической безопасности технологии мокрого тушения кокса представляются весьма актуальными в наше время.

Материал и результаты исследований. В результате теоретических и экспериментальных исследований определены пути повышения эффективности утилизации теплоты парогазовых

выбросов и разработаны новые тепломеханические схемы устройства и системы для мокрого тушения кокса основанные на использовании теплоутилизаторов на основе форсуночных камер со ступенчатым подогревом теплоносителя и возможностью достижения теплового КПД порядка 93 – 95% [2-5].

Важным итогом проведенных исследований тепломассообменных процессов при охлаждении и конденсации пара из парогазовой смеси в форсуночных камерах стало получение новой эмпирической зависимости между произведением коэффициента массообмена на площадь контактной поверхности и определяющими параметрами тепломассообмена в форсуночной камере, а также зависимостей для определения параметров работы форсуночных камер с заданной тепловой эффективностью выражаемой тепловым КПД в диапазонах параметров парогазовой смеси, характерных для технологии мокрого тушения кокса [6].

Подстановка данных полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований в алгоритм определения параметров систем утилизации теплоты парогазовых выбросов позволяет решить задачу энергосбережения и обеспечить экологическую безопасность технологии мокрого тушения кокса.

С учётом вышесказанного, алгоритм определения параметров систем утилизации теплоты парогазовых выбросов представляется в следующем виде:

1. Исходными данными к расчётам технологических параметров системы утилизации теплоты при мокром тушении кокса являются зависимости для интенсивности парообразования в процессах мокрого тушения от времени цикла тушения $D_n(\tau)$; отношение мгновенных расходов пара и газов в цикле тушения $D_n(\tau)/g_z(\tau)$; доля физической теплоты кокса идущей на парообразование $\chi(\tau)$; зависимость плотности парогазового потока от времени с момента начала цикла тушения $\rho_{ngc}(\tau)$; глубина прогрева транзитных тушильных вод $W(\tau)$, температура парогазового потока на входе в контактный аппарат t_w ; скорость парогазового потока на входе в контактный теплоутилизатор W_{ngc} ; температура воды, подаваемой на тушение t_{mv} . Эти данные представляются в виде графических зависимостей получаемых экспериментальным путём, по результатам измерений на действующих тушильных башнях и в целом аналогичны

представленным в работе [1]. К известными технологическими параметрами мокрого тушения относятся следующие: время тушения τ ; масса кокса, подаваемого в установку для мокрого тушения кокса за один цикл m_k . Для оперирования такими графическими зависимостями необходимо установить количество теплоты вносимой в установку для мокрого тушения кокса за цикл тушения и средний тепловой поток вносимый за цикл тушения и определяемый по известным зависимостям [1, 6, 7]:

$$Q_k = m_k c_k \Delta t; \text{ кДж} \quad (1)$$

$$Q'_k = \frac{Q_k}{\tau}, \text{ кВт} \quad (2)$$

где m_k - масса кокса в загрузке тушильного вагона, кг;

c_k - средневзвешенная теплоёмкость кокса за цикл тушения кокса, принимается в интервале температур Δt от 1000 до 250 °С;

τ – продолжительность цикла тушения, с.

Масса кокса в загрузке тушильного вагона определяется с учётом конструктивных характеристик по формуле: $m_k = \rho_k V_{т.в.}$, кг, где ρ_k - истинная плотность насыпной массы кокса, кг/м³ (определяется по справочным таблицам); $V_{т.в.}$ – объём загрузки кокса в тушильный вагон, обслуживающий данную установку для мокрого тушения кокса, м³. Для повышения точности расчётов теплоёмкость кокса целесообразно определять по формуле В.Б. Глейбмана. Точность расчётов проверяется выполнением условия тождественности балансового уравнения тепловых потоков в тушильной камере, а практическим итогом расчетов является установление распределения тепловых потоков в тушильной камере установки для мокрого тушения кокса. Для повышения точности расчёта можно дополнительно определить величины теплового потока, вносимого в тушильную башню с продуктами горения кокса. Исследования представленные в работах [1, 3] позволили установить параметры парогазового потока на выходе из тушильной камеры, включая плотность 1,1 - 0,7 кг/м³ и температуру 37 - 94 °С, что позволило сделать вывод, что для условий «закрытой» тушильной камеры и при своевременном отводе теплоты и конденсата из ступенчатого контактного теплоутилизатора, температура парогазовой смеси будет близка к 100 °С.

2. Определение конструктивных параметров и режимов работы теплоутилизатора выполненного на основе форсуночных камер производится с использованием эмпирической зависимости для произведения коэффициента массообмена на площадь контактной поверхности и определяющих параметров теплообмена в форсуночных камерах, в качестве которых приняты критерии и коэффициенты входящие в теоретическую зависимость академика А.Н.Колмогорова и характеризующие качественные параметры работы форсунок [6]:

$$yF/A_l = B \cdot (d_k^y/d_{\text{э}})^{2,32} Re_{\text{э}}^{0,56}. \quad (3)$$

Зависимость 3 получена для следующего диапазона параметров парогазовой смеси на входе в форсуночную камеру: 1) температура парогазовой смеси на входе в ФК экспериментальной установки $t_{\text{вх}}$, °С: 95 - 110; 2) массовая доля пара в парогазовой смеси φ , %: 4 – 30; 3) абсолютное давление на входе в ФК $P_{\text{вх}}$, кПа: 91,2 – 131,7, что соответствует условиям работы теплоутилизаторов на основе форсуночных камер в тушильных башнях установок мокрого тушения кокса. Применение зависимости 3 целесообразно в комплексе с разработанным алгоритмом определения параметров работы характеристического элемента (единичная форсунка и ограниченный объём в зоне её действия) с заданной тепловой эффективностью выражаемой тепловым КПД детально представленным в работе [6], что позволяет определить численные значения качественных параметров работы форсунок $Re_{\text{э}}$ и $d_k^y/d_{\text{э}}$, для условий характеристического элемента форсуночной камеры экспериментальной установки. Условия распространения данных полученных результатов на характеристические элементы форсуночных камер промышленного теплоутилизатора представляются в виде [6]:

$$\frac{d_k}{d_{\text{э}}} Re_{\text{э}}^2 = \frac{d_{k1}}{d_{\text{э}1}} Re_{\text{э}1}^{n_1}; \quad (4)$$

$$(d_k^y/d_{\text{э}})^{2,32} Re_{\text{э}}^{0,56} = (d_{k1}^y/d_{\text{э}1})^{2,32} Re_{\text{э}1}^{0,56}, \quad (5)$$

где $Re_{\text{э}1}$, $d_{k1}^y/d_{\text{э}1}$ – качественные параметры работы форсуночного устройства промышленной технологии;

n_1 – константа распределения для форсуночного устройства промышленного контактного теплоутилизатора.

Зависимости 4, 5 действуют для геометрически подобных камер и позволяют обобщить опыт распыливания и сформулировать условия выбора для 160 типов тангенциальных механических форсунок. При этом количество форсунок в контактном теплоутилизаторе определяется исходя из его пространственных характеристик при обязательном выполнении условия полного раскрытия факела распыла в первой фазе дробления струи [6, 9].

3. Определение параметров теплообменника тепловой сети производится по известным методикам изложенным в работах [10, 11], однако, в ходе расчета необходимо учитывать цикличность работы технологии мокрого тушения кокса. Для этого количество утилизированной теплоты, аккумулируемое в элементах системы утилизации теплоты и мокрого тушения кокса, должно быть достаточным для передачи стабильного теплового потока с постоянными параметрами нагрева теплоносителя тепловых сетей. Исходя из необходимости выполнения данного требования подбираются размеры накопительных ёмкостей ступеней контактного теплоутилизатора.

Поток теплоты в теплообменнике тепловых сетей определяется по формуле:

$$Q_{ТЦ} = G_{ТЦ} c (t_1' - t_1''), \text{ кВт} \quad (6)$$

где $G_{ТЦ}$ – суммарный расход теплоносителя на выходе из ступеней контактного теплоутилизатора, кг/с;

c – теплоёмкость теплоносителя, кДж/кгС;

t_1' – среднемассовая температура на выходе из контактного теплоутилизатора, С;

t_1'' – температура на входе в первую ступень контактного теплоутилизатора, С.

Среднемассовая температура определяется по формуле:

$$t_1' = \frac{G_{ВЫХ1}^{ОБЦ} t_1 + G_{ВЫХ2}^{ОБЦ} t_2}{G_{ВЫХ1}^{ОБЦ} + G_{ВЫХ2}^{ОБЦ}} \cdot \text{С} \quad (7)$$

где сумма в знаменателе представляет собой суммарный расход теплоносителя на выходе из I-ой и II-ой ступени контактного аппарата, а параметры t_1 , t_2 – температуры теплоносителя на выходе из соответствующих ступеней, С.

Расход теплоносителя в трубном пространстве (в случае рекуперативного кожухотрубчатого теплообменника тепловой сети) определяется по формуле:

$$G_T = G_{TЦ} \frac{\tau_{Ц}}{\tau_{Ц} + \tau_{МЦ}}, \text{ кг/с} \quad (8)$$

где $\tau_{Ц}$ – продолжительность цикла тушения кокса, с;

$\tau_{МЦ}$ – межциклового промежутка времени, с.

Расход воды в межтрубном пространстве рассчитывается по формуле:

$$G_{MT} = \frac{Q_{Ц}}{c(t_2'' - t_2')} \cdot \frac{\tau_{Ц}}{\tau_{Ц} + \tau_{МЦ}} \cdot \text{кг/с} \quad (9)$$

Тепловой поток, передаваемый системой утилизации теплоты оборудованной теплоутилизатором на основе форсуночных камер со ступенчатым подогревом теплоносителя, через рекуперативный теплообменник в тепловые сети, определяется по формуле:

$$Q = Q_{Ц} \frac{\tau_{Ц}}{\tau_{Ц} + \tau_{МЦ}} \cdot \text{кВт} \quad (10)$$

После установления величин потоков тепловых и массовых потоков в теплоутилизаторе системы утилизации теплоты мокрого тушения кокса производится стандартный расчёт поверхности теплообмена в теплообменнике тепловых сетей по методикам изложенным в работах [10, 11]. При расчете данного элемента алгоритма необходимо учитывать что максимальные параметры теплоносителя на выходе из теплоутилизатора существенно ограничивает возможности передачи теплоты существующими тепловыми сетями, поэтому, при нагреве теплоносителя в теплообменнике по стороне тепловых сетей на 15 – 20 °С, потребуется дополнительный подогрев в котельных установках или теплообменниках ТЭЦ до параметров востребованных конечными потребителями.

4. Определение параметров парогазового потока на входе в газоочистку и подбор газоочистки, производится на основании данных завода изготовителя [5, 12] и результатов расчёта отходящих парогазовых потоков после теплоутилизатора системы утилизации теплоты мокрого тушения кокса, в соответствии с рекомендациями представленными в пункте 2.

5. Определение параметров гидравлической схемы подачи теплоносителя и подбор арматуры, трубопроводов и насосов, производится по стандартным методикам изложенным в работах [13, 14], исходя из расходов теплоносителя в контурах системы и с учётом местных и линейных сопротивлений.

6. Определение параметров потребления электроэнергии и эксплуатационных затрат на выработку теплоты, проверка экономических показателей работы системы и её элементов. Решение поставленной в данном элементе алгоритма сложной задачи связано с необходимостью определения критериев и коэффициентов эффективности в их связи со сроками окупаемости мероприятий по внедрению предложенных систем. Оценка эффективности систем утилизации теплоты процессов мокрого тушения кокса производится на основании анализа технико-экономических показателей её работы.

Общими характеристиками эффективности работы таких систем является величина удельного и общего выхода вторичных энергоресурсов в условиях коксохимических производств, соответственно [15]:

$$q_{уд}^T = m (c_1 t_1 - c_2 t_2) = m \Delta h; \quad (11)$$

$$Q_{вых} = q_{час} \times \tau, \quad (12)$$

где m – удельное количество кокса, охлаждаемого в установках для мокрого тушения кокса, содержащего энергетический потенциал в виде физической теплоты, кг;

t_1 – температура кокса на входе в тушильную камеру, $^{\circ}\text{C}$;

c_1 – теплоёмкость кокса, $\text{кДж/кг}^{\circ}\text{C}$;

t_2 – температура кокса на выходе из тушильной камеры, $^{\circ}\text{C}$;

c_2 – теплоёмкость кокса на выходе из тушильной камеры, $\text{кДж/кг}^{\circ}\text{C}$;

$q_{час}$ – часовой выход вторичных энергоресурсов в виде парогазовых выбросов, кДж ;

τ – время работы установки, ч.

Коэффициент использования выработанной теплоты [15]:

$$\sigma = Q_n / Q_T, \quad (13)$$

где Q_T – выработка теплоты в теплоутилизационной установке за счёт вторичных энергоресурсов, кДж ;

Q_n – использование тепловых вторичных энергоресурсов, кДж .

Академик М.В.Кирпичев предложил оценивать тепловую эффективность на основании энергетического коэффициента:

$$\Theta = Q / (A \Sigma N), \quad (14)$$

где ΣN - суммарные затраты мощности на сопротивление в форсуночной камере;

$A = 1/427$ - тепловой эквивалент работы, ккал/кг·м;

Q - количество переданной теплоты в теплоутилизаторе, ккал/ч.

Кроме указанных критериев и коэффициентов необходим подбор критериев на основании которых производится оценка конструктивных решений. Такие критерии могут быть получены только на основе анализа технико-экономических показателей работы системы. Автором предложено использовать показатель для технико-экономической оценки принятия конструкторских решений:

$F = C \times N \times t_{\text{эк}} + Z$, где C - стоимость вида потребляемого элементом технологической схемы энергоносителя для данного предприятия, грн/ед. потреб. мощности; N - мощность потребляемого энергоресурса; $t_{\text{эк}}$ - срок эксплуатации элемента системы, часов; Z - капитальные затраты, эксплуатационные затраты (кроме потребляемых энергоресурсов), амортизационные отчисления и т. п. за время эксплуатации элемента системы, грн.

Требование минимизации показателя F является ключевым при выборе конструктивных решений для различных вариантов оборудования элементов системы утилизации теплоты мокрого тушения кокса. Капитальные и эксплуатационные затраты определяются по итогам расчётов в соответствии с алгоритмом определения параметров систем утилизации теплоты и обезвреживания вредных выбросов при мокром тушении кокса.

Выводы

1. Разработан алгоритм определения параметров систем утилизации теплоты мокрого тушения кокса.

2. Определены критерии оценки выбора конструктивных параметров элементов систем утилизации теплоты мокрого тушения кокса;

3. Нашли дальнейшее развитие работы по повышению тепловой эффективности и экологической безопасности технологии мокрого тушения кокса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайленко А.А., Семенов В.С. Утилизация тепла и снижение вредных выбросов при мокром тушении кокса // Экологические проблемы в энергетике. - М.: ВНИПИЭнергоПром.- 1990.
2. Патент Украины №42199А. Пристрій для мокрого гасіння кокса. / Суртаев В.В., Суртаев В.М.- БИ. №9.-2001.
3. Суртаев В. В. Система утилизации тепла и обезвреживания вредных выбросов при мокром тушении раскालённого кокса // Научно-технический сборник: Разработка рудных месторождений.- 2002. -№78.-С.150-154.
4. Патент Украины №44003А. Система для мокрого гасіння розжареного коксу. / Суртаев В.В., Суртаев В.М.- БИ. №1.- 2002.
5. Суртаев В. В. Перспективные направления обеспечения экологической безопасности установок утилизации теплоты мокрого тушения кокса // Энергетика: экономика, технологии, экология. - НТУУ КПИ.- №1.-2004.-С.77-81.
6. Суртаев В. В. Математическое моделирование и экспериментальные исследования процессов контактного теплообмена в характеристическом элементе теплоутилизатора выполненного на базе форсуночной камеры // Энергетика: экономика, технологии, экология. - НТУУ КПИ.- 2007.-№2.-С.88-93.
7. Справочник коксохимика в 6-ти томах /Под ред. А. И. Шелкова.- М.: Металлургия.- 1965.
8. Мучник Д. А., Постольник Ю. С. Теория и техника охлаждения кокса. – Киев-Донецк.: Вища школа.- 1979.
9. Хавкин Ю. И. Экспериментальное определение качества распыливания топлива центробежными форсунками большой производительности /В кн.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики.- Алма-Ата: Наука.- 1966.-С. 70-80.
10. Хоблер Т. Теплопередача и теплообменники. - М.: Госхимиздат.- 1961. - 820 с.
11. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообменника. – М.: Атомиздат.- 1979. - 416 с.
12. Каталог технологий фирмы «Haldor Topse A/S» (Дания) / Технологии охраны среды.- 2000.-26 с.
13. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука.- 1978.- 736 с.
14. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. - М.: Изд-во иностр. лит.- 1959. - 520 с.
15. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы. Справочник под ред. Григорьева, В. М. Зорина. - М.: Энергия.- 1980.-528 с.

Получено 25.01.2008 г.