

УДК 697.7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ГАЗОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ

д.т.н., проф. В.Ф. Иродов, асс. Д.Е. Осетянская

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Постановка проблемы. При использовании инфракрасных газовых нагревателей весомую часть, тем не менее, занимает конвективный способ передачи теплоты за счет нагревания окружающего воздуха, в то время как для решения многих задач необходимо получать именно лучистую тепловую энергию. Поэтому, актуальной задачей является повышение эффективности работы инфракрасных газовых нагревателей за счет рационального использования конвективной теплоты и повышения лучистой составляющей процесса теплообмена. Повышение лучистой составляющей позволит сократить металлоемкость лучистого нагревателя, снизить его себестоимость и рационально использовать топливные ресурсы.

Анализ последних исследований. В техническом решении [1] представлены некоторые способы повышения эффективности работы газового лучистого нагревателя за счет рационального использования конвективной теплоты. Основное внимание обращается на усовершенствование отражателя установки, повышение качества использования конвективной теплоты при направлении ее в рабочую зону. В техническом решении [2] авторами предлагается повышение эффективности газового лучистого нагревателя за счет использования теплоты конвективно нагретого воздуха в процессе горения топлива. Данное техническое решение представляет собой трубчатый газовый нагреватель повышенного лучеиспускания, принцип работы которого приведен на рис.1.

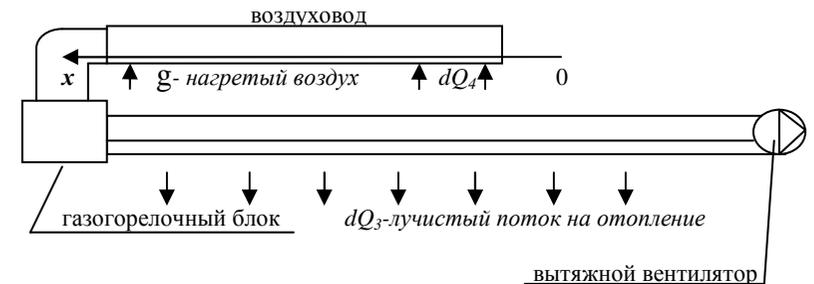


Рис.1. Принципиальная схема работы лучистого газового нагревателя с повышенным лучеиспусканием.

Лучистый газовый нагреватель с повышенным лучеиспусканием помимо газогорелочного блока, трубы-излучателя, отражателя, вытяжного вентилятора, имеет в конструкции воздуховод, через который происходит забор и транспортировка конвективно нагретого воздуха на горение. За счет подачи

горячего воздуха на горение увеличивается температура внутри излучающей трубы, при этом ее энергия излучения растет пропорционально четвертой степени абсолютной температуры. В связи с этим резко возрастает радиационная теплопередача по сравнению с конвективной, интенсивность которой пропорциональна разности температур только в первой степени. Смесеобразование в нагревателе происходит за счет кинетической энергии газовой струи и разрежения, которое создает вытяжной вентилятор.

Постановка задачи. Задачей данной работы является разработка математической модели газового лучистого нагревателя с повышенным лучеиспусканием для дальнейших расчетов параметров его эффективной работы.

Характерной особенностью математической модели нагревателя с повышенным лучеиспусканием является наличие взаимной связи теплового и гидравлического режима основного участка нагревателя с режимом участка подогрева воздуха, использующегося для горения.

Математическая модель теплового и гидравлического режима основного участка нагревателя. Рассматривается стационарное одномерное движение однородной газо-воздушной смеси, начиная от сечения полного сгорания горючего газа до входа в вытяжной вентилятор. Имеют место следующие уравнения сохранения.

Уравнение сохранения массы:

$$\rho w F = M = \text{const} , \quad (1)$$

где ρ - плотность газа; w - средняя линейная скорость движения газа по трубе-излучателю; F - площадь поперечного сечения излучателя.

Уравнение состояния газо-воздушной смеси в виде уравнения состояния идеального газа:

$$P = \rho R T , \quad (2)$$

где P - абсолютное давление в сечении воздуховода; T - абсолютная температура газа в данном сечении воздуховода; R - газовая постоянная, зависящая от состава газовой смеси после полного сгорания горючего газа.

Уравнение движения газо-воздушной смеси внутри воздуховода:

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{\lambda}{d} \frac{w^2}{2} dx = 0 \quad (3)$$

где dP - перепад давления при течении газа в воздуховоде-излучателе на участке длиной dx , λ - коэффициент трения, D - внутренний диаметр излучателя.

Далее составим уравнения теплового баланса для элементарного участка воздуховода длиной dx .

$$dQ_{en} = c_p dT = dQ_1 = dQ_2 = dQ_3 + dQ_4, \quad (4)$$

где dQ_{en} - теплота, выделяющаяся при горении топлива; c_p - изобарная теплоемкость газовой смеси; dQ_1 - тепловой поток от газа к стенке воздуховода, передаваемый конвекцией, в данном сечении на элементарном участке длиной dx ; dQ_2 - тепловой поток от внутренней поверхности стенки воздуховода к наружной поверхности, передаваемый теплопроводностью на

участке dx ; dQ_3 - тепловой поток излучением от поверхности воздуховода-излучателя в окружающую среду отапливаемого помещения на участке dx ; dQ_4 - тепловой поток от наружной стенки воздуховода-излучателя в окружающее пространство отапливаемого помещения, передаваемый конвекцией на участке dx .

Интегрируя (4), получаем значение T в новой точке $T(x+\Delta x)$; уравнение (3) содержит неизвестные P, ρ ; уравнение (2) - неизвестные P, ρ, w ; уравнение (1) - неизвестные ρ, w .

В совокупности уравнения (2) - (3) содержат неизвестные P, ρ, w , т.е. система разрешима.

Продифференцируем (1):

$$\begin{cases} wFdP + \rho Fdw = 0 \\ dP + \lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} = 0 \\ dP - RTd\rho - \rho RdT = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Система (5) содержит неизвестные $d\rho, dw, dP$ и известные dx, dT .

Расчет для однорядного течения.

В начальной точке $x=0$ известны начальные условия: $P(0); w(0); \rho(0); T(0); T_{cm}(0)$. Преобразуем (5) и получим соответственно уравнения (5.1), (5.2) и (5.3).

$$\begin{cases} wFdP + \rho Fdw = 0 \\ dP = -\lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} \\ dP - RTd\rho = \rho RdT \frac{wF}{RT} \end{cases} \quad (5.3)$$

$$\frac{wF}{RT} dP - wFd\rho = \frac{\rho wF}{T} dT \quad (5.3')$$

Складывая (5.1) и (5.3'), получим:

$$\frac{wF}{RT} dP + \rho Fdw = \frac{\rho wF}{T} dT \left(-\frac{RT}{wF}\right) \quad (5.4)$$

$$-dP - \frac{\rho F}{wF} dw = -\frac{\rho wF}{T} \frac{RT}{wF} dT \quad (5.4')$$

Складывая (5.4') и (5.2), получим:

$$-\frac{\rho RT}{w} dw = -\lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} - \rho dT$$

или
$$\rho RT \frac{dw}{w} = +\lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} + \rho R dT \frac{T}{T}$$

или
$$P \frac{dw}{w} = \lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} + P \frac{dT}{T} \quad (5.5)$$

Откуда легко вычислить относительное (и абсолютное) приращение скорости:

$$\frac{dw}{w} = \lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} / P + \frac{dT}{T} \quad (6)$$

С учетом $\frac{dP}{P} = -\lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} / P$ из (5.2), а также из (5.1):

$$wF \rho \frac{d\rho}{\rho} + \rho wF \frac{dw}{w} = 0$$

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dw}{w} = 0, \text{ т.е. } \frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dw}{w}$$

Итоговые формулы:

$$\frac{dP}{P} = -\lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} / P \quad (7)$$

$$\frac{dw}{w} = \lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} / P + \frac{dT}{T} \quad (8)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{w^2}{2} / P + \frac{dT}{T} \quad (9)$$

С помощью формул (7)-(9), очевидно можно вычислить значения P , ρ , w вдоль трубы- излучателя при известных начальных условиях.

Коэффициент гидравлического сопротивления для турбулентного режима течения в трубах при $Re > 4000$ определяется по формуле:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_3}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

где k_3 – эквивалентная абсолютная шероховатость.

При больших числах Re :

$$\lambda \approx 0,11 \left(\frac{h_3}{D} \right)^{0,25}$$

Математическая модель участка нагревателя с подогревом воздуха для горения. Рассматриваются три основных уравнения сохранения в виде:

$$\text{уравнение сохранения массы } d(\rho w F) = F g(x) dx, \quad (10)$$

$$\text{движения } \rho w dw = -dP - g(x) w dx, \quad (11)$$

$$\text{энергии } \rho w d \left(i + \frac{w^2}{2} \right) = g(x) \left[\Delta i(x) - \frac{w^2}{2} \right], \quad (12)$$

где g - величина, которая характеризует количество конвективно-нагретого воздуха, который поступает в воздуховод, $g=g(x)$ - количество воздуха, забираемого вдоль оси трубы – излучателя x . При конструировании установки нагревателя с повышенным лучеиспусканием величина g задается.

Нужно выразить приращения дифференциалов dw , $d\rho$, dP , dT через параметры течения P, ρ, w, T и $g(x)$. Следует учитывать уравнение состояния:

$$P = \rho RT \quad (13)$$

Продифференцируем (10):

$$\begin{aligned} wF d\rho + \rho F dw + \rho w dF &= Fg(x) dx & (10') \\ \rho w dw &= -dP - g(x) w dx \end{aligned}$$

Учитывая, что рассматриваемые скорости невелики, уравнение (12) можно упростить:

$$\rho w c_p dT = g(x) \left[c_p \Delta T - \frac{w^2}{2} \right] \quad (12')$$

$$dP = \rho R dT + RT d\rho \quad (13')$$

При этом $\Delta T = T_{\text{конв}}(x) - T$, где $T_{\text{конв}}(x)$ – температура конвективно нагретого воздуха, которую полагаем известной, т.к. она может быть определена так же как и $g(x)$; T - температура газовой смеси, которая будет изменяться в зависимости от $T_{\text{конв}}(x)$. Тогда из уравнения (12') вычислим dT :

$$dT = \frac{g(x)}{\rho w c_p} \left\{ c_p [T_{\text{конв}}(x) - T] - \frac{w^2}{2} \right\}$$

Из уравнений (10') и (11) получим зависимость между dP и $d\rho$. Для этого запишем выражения для ρdw из (10') и (11), получим:

$$\rho dw = g(x) dx - w d\rho - \rho w \frac{dF}{F}$$

$$\rho dw = -\frac{dP}{w} - g(x) dx$$

$$2g(x) dx - w d\rho - \rho w \frac{dF}{F} + \frac{dP}{w} = 0$$

Подставляя (13') вместо dP в последнее уравнение, получим:

$$w d\rho = \frac{(\rho R dT + RT d\rho)}{w} - \rho w \frac{dF}{F} + 2g(x) dx$$

Объединяя члены с $d\rho$, получим:

$$d\rho \left[w - \frac{RT}{w} \right] = \frac{RT}{w} dT - \rho w \frac{dF}{F} + 2g(x) dx$$

Из последнего уравнения можно вычислить дифференциал dp , из (13') – dP , из (11) – dw .

Обсуждение результатов. Если при выполнении расчетов конструирования установки принять количество нагретого воздуха $g(x)$, поступающего на горение известной величиной и определить температуру нагретого воздуха $T_{конв}(x)$ и температуру излучающей среды T , то математическая модель установки рассчитывается по предложенным уравнениям с помощью метода эволюционного поиска предпочтительных решений. Для проведения расчетов параметров существующей установки необходимо произвести дополнительные расчеты для определения величин $g(x)$ и температур. Целесообразно, по мнению авторов, определить величины $g(x)$, $T_{конв}(x)$ и T с помощью физического эксперимента.

Выводы. Разработана математическая модель газового лучистого нагревателя повышенного лучеиспускания, которая представляет собой гидравлическую цепь с распределенными и регулируемыми параметрами. Приведен алгоритм расчета параметров работы нагревателя, основанный на интегрировании с применением метода эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Патент України № 87028, F24D 10/00. Газовий трубчастий променевий нагрівач/ А.О. Редько, М.М. Болотських; Дата подання 25.02.2009; Дата ріш. 10.06.2009, бюл. № 11.
2. Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель «Променевий нагрівач» №2229/ЗУ/11 від 02.02.2011// Иродов В.Ф., Осетянська Д.С., Хацкевич Ю.В./МПК(2011.01),F24D 15/00,F24C 15/00.
3. Иродов В.Ф., Солод Л.В., Кобыща А.В. Математическое моделирование элементарного участка системы воздушно-лучистого отопления// Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.- Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2001.- №4.- С.41-46.
4. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей.- М.: Наука, 1985.- 279с.

УДК 697.7

Повышение эффективности трубчатых газовых нагревателей для лучистого отопления/ Иродов В.Ф., Осетянская Д.Е.// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. ?? ч.?? - Дневск., ПГАСА, 2011.- С.???? табл.???.- рис.???. - Библиогр.:(???? назв.)

Актуальной задачей является повышение эффективности работы инфракрасных газовых нагревателей за счет рационального использования конвективной теплоты и повышения лучистой составляющей процесса теплообмена. Разработана математическая модель газового лучистого нагревателя повышенного лучеиспускания. Приведен алгоритм расчета параметров работы нагревателя, основанный на интегрировании с применением метода эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений.