

Хацкевич Ю.В., канд. техн. наук

(Украина, Днепрпетровск, ГВУЗ «Национальный горный университет»),

Дудкин К.В.

(Украина, Киев, ООО «КВ-автоматизация»)

МНОГОКОНТУРНЫЕ СИСТЕМЫ ТРУБЧАТЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ГАЗОВЫХ ОБОГРЕВАТЕЛЕЙ

Введение. Трубчатые инфракрасные обогреватели являются эффективным и экономичным отопительным оборудованием. Потребление топлива при их применении на 15–20 % меньше, чем при использовании традиционного водяного отопления [1]. Однако в некоторых помещениях согласно строительным нормам такие обогреватели применять нельзя из-за высокой температуры поверхности нагрева [2]. Возникает необходимость понизить температуру рабочего тела нагревателей без снижения эффективности использования топлива. Наиболее простым способом изменения температуры нагревателей является изменение коэффициента избытка воздуха в горячей газовой смеси [3]. Его недостатком является снижение эффективности сжигания и, как следствие, перерасход газового топлива при понижении температуры смеси. Предлагается решить поставленную задачу путем применения многоконтурных систем инфракрасных трубчатых нагревателей. Такие системы будут иметь особенности конструкции, которые необходимо учитывать при расчете режима их работы. Существующие подходы к расчету режимов многоконтурных систем трубчатых нагревателей [3] разработаны только для некоторых конструктивных решений и не учитывают особенностей предлагаемой системы.

Цель данной работы – показать принципиальную схему многоконтурной системы трубчатых нагревателей с пониженной температурой поверхности, разработать для нее алгоритм расчета гидравлического и теплового режимов.

Основная часть. Особенностью конструкции предлагаемой многоконтурной системы является наличие участка, где остывшие продукты сгорания отдают остаточное тепло потоку внутреннего воздуха помещения, который затем подмешивается к продуктам сгорания, только вышедшим из горелки и имеющим максимальную температуру.

Движение теплоносителя в многоконтурной системе трубчатых инфракрасных обогревателей представлено в виде схемы, изображенной на рис. 1, где кругами обозначены узлы схемы. Стрелками показаны направления перемещения теплоносителя. Узел 8 – начальный, 9 – конечный. На участках 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 5–6, 6–7, 2–5 наблюдается пассивное перемещение теплоносителя за счет повышенного давления в начальном узле и пониженного – в конечном. Разность давлений обычно создается с помощью вытяжного вентилятора, расположенного в конечном узле. На участке 7–1 создан активный напор, здесь происходит повышение давления от узла 7 к узлу 1. Участок 8–1 предназначен для поступления теплоносителя в систему отопления, а участок 1–9 – для удаления отработанного теплоносителя из системы.

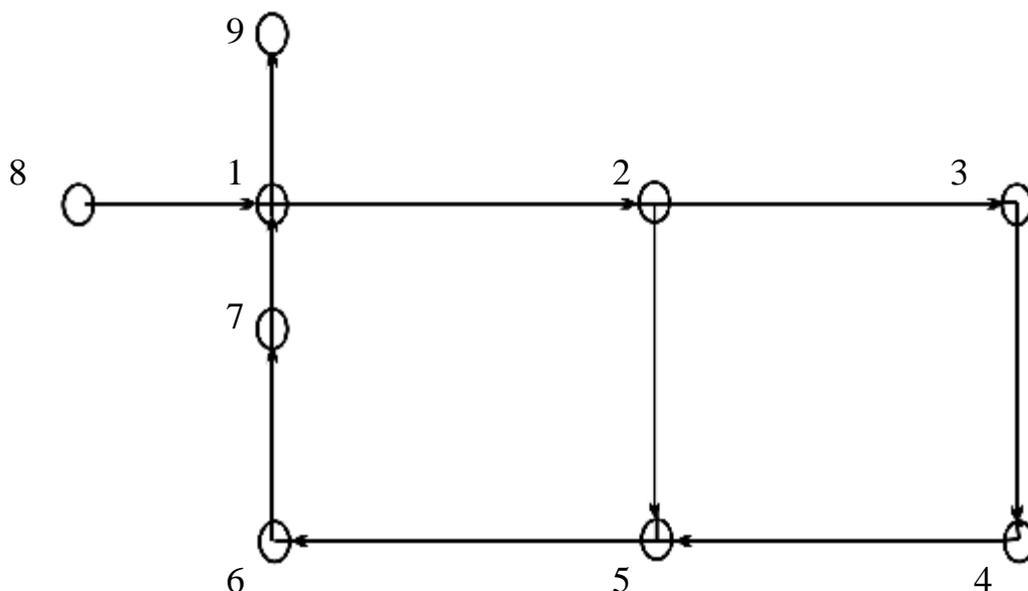


Рис. 1. Схема движения теплоносителя в многоконтурной системе низкотемпературного инфракрасного отопления

Проанализируем энергетическую эффективность предлагаемой схемы системы отопления. Для этого обозначим через G_1 и G_2 массовые расходы теплоносителя, поступающего в систему, и удаляемого соответственно, а через i_1 и i_2 – энтальпию теплоносителя на входе и выходе из системы.

При стационарном режиме работы системы воздушно-лучистого отопления выполняется условие $G_1 = G_2$. Коэффициент полезного действия системы отопления можно представить в виде

$$h = \frac{i_1 - i_2}{i_1}. \quad (1)$$

Из соотношения (1) видно, что если обеспечивается большое значение энтальпии теплоносителя на входе (для газовой среды энтальпия пропорциональна температуре) и малое – на выходе из системы, то мы будем иметь достаточно высокий коэффициент полезного действия. Для многоконтурной системы инфракрасного газового отопления вполне реально иметь, например, температуры $t_1 = 750$ °С, $t_2 = 60$ °С, что обеспечивает $h = 0,92$.

Чтобы можно было надежно строить многоконтурные системы воздушно-лучистого отопления, нужно рассчитывать гидравлический и тепловой режим в этих системах. Предлагается подход к расчету режимов работы, основанный на эволюционном алгоритме поиска.

Многоконтурная система инфракрасного отопления может быть представлена как многоконтурная гидравлическая цепь с распределенными и регулируемые параметрами. Модель гидравлической цепи – плоский граф, состоящий из множества узлов J и множества дуг (участков) I , их соединяющих. Известна матрица соединений A и матрица контуров цепи B . Множество узлов J состоит из множества источников J_1 , множества стоков J_2 и множества узлов сочленения J_3 .

Для предложенного схемного решения будем считать, что один из узлов является одновременно источником и стоком, так что суммарный расход этого узла равен нулю, однако в этом узле происходит обмен энергией между поступающими и выходящими потоками теплоносителя на основании закона сохранения энергии.

Математическую модель для элементарного участка [3] можно представить в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} dy_{li} / dz &= f_{li}(y_{li}, z_i), \\ l &= 1, 2, \dots, u, \\ i &= 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (2)$$

где y – параметр режима; u – количество параметров теплового и гидравлического режима; v – общее число элементарных участков; z_i – линейные координаты рассматриваемого участка.

Для гидравлической цепи должны выполняться уравнения второго закона Кирхгофа [2], которые в матричной форме имеют вид

$$\|B \cdot H\| = 0, \quad (3)$$

где $H = \{h_i\}$ – вектор потерь давления на элементарных участках, $i=1, 2, \dots, v$.

В узлах-стоках множества J_2 (на схеме это узлы 1 и 9) предполагается наличие активных элементов (вытяжных вентиляторов). Для этих узлов зависимость активного напора от расхода воздушной среды может быть представлена как:

$$P_{aj} = g(q_j), \quad (4)$$

где $j \in J_2$.

Введем фиктивный узел, j_0 – общий сток. Тогда появляются дополнительные дуги, соединяющие узлы-стоки с узлом j_0 , а алгебраические соотношения (2) становятся математической моделью дополнительных дуг.

При расчете гидравлического режима необходимо определить набор искомых параметров вида $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, где x_i – расход газовойоздушной среды по хордам гидравлической цепи.

Для нахождения численных значений параметров использовался алгоритм эволюционного поиска [4] наиболее предпочтительных решений

$$X_k = S(G(X_{k-1})), \quad k=1, 2, \dots, \quad (5)$$

где X_k – множество наиболее предпочтительных решений по отношению выбора R_S для шага k ; X_{k-1} – то же для $(k-1)$ -го шага итерации; $G(X)$ – функция генерации, порожденная отношением генерации R_G ; $S(X)$ – функция выбора, порожденная отношением выбора.

Функция выбора обеспечивает выбор решений по минимуму критерия (3), где потери давления по участкам рассчитываются после интегрирования уравнений (2) с учетом (4).

Численные расчеты многоконтурных систем воздушно-лучистого отопления на основании изложенного алгоритма эволюционного поиска показали достаточно быструю сходимость решений по нескольким ветвям поиска решений к единственному решению – набору требуемых расходов газовой среды в ветвях схемы, который обеспечит работу многоконтурной системы в выбранном гидравлическом режиме.

Выводы. Для расширения области применения инфракрасных трубчатых обогревателей необходимо уменьшать температуру поверхности нагрева. С этой целью предложено использовать многоконтурные системы обогревателей. Описана возможная схема такой системы, рассмотрены ее отличительные особенности. Расчет показал высокий коэффициент полезного действия предложенного решения. Сформулирована задача расчета режима работы многоконтурной системы трубчатых нагревателей. Предложен алгоритм ее расчета на основе эволюционного поиска.

Список литературы

1. ДБН В.2.5-20-2001. Газопостачання [текст]. – К.: Держбуд України, 2001. – 286 с.
2. Дудкина, Ю.В. Снижение расхода энергии системами воздушно-лучистого отопления в условиях Украины [текст] / Ю.В. Дудкина // Техн. електродинаміка. – 2004. – №3. – С. 88–91.
3. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: справ. пособие [текст] /Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
4. Иродов, В.Ф. К вопросу развития одной схемы поиска наиболее предпочтительных решений [текст] / В.Ф. Иродов, Ю.В. Хацкевич // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали XII міжнар. наук.-техн. конф. SAIT 2010, Київ, 25–29 травня 2010 р. / ННК “ІІСА”НТУУ “КПІ”. – К., 2010. – С. 250.

Рекомендовано до друку: професором Випанасенко С.І.