

УДК 697:620.9.004.18

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРУБЧАТЫХ ГАЗОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В КОНСТРУКЦИИ ПОЛА

Инж. Черноморец Г.Я., д.т.н., проф. Иродов В.Ф.

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Постановка проблемы. Актуальным направлением для данного этапа развития теплоснабжения является повышение эффективности работы систем автономного теплоснабжения. Одно из таких направлений - использование трубчатых газовых нагревателей, которые одновременно являются источниками теплоснабжения и отопительными приборами. Статья посвящена новому техническому решению, позволяющему использовать трубчатые газовые нагреватели с размещением газоздушных каналов в строительных конструкциях.

Анализ последних исследований. Известны работы по усовершенствованию конструкций и математического моделирования трубчатых газовых нагревателей [1-4]. На их основе можно сформулировать математическую модель трубчатого газового нагревателя, газоздушные каналы которого размещены в строительных конструкциях. В техническом решении [5] представлена математическая модель трубчатых газовых нагревателей, расположенных в строительных конструкциях, которая состоит из модели трубчатого газового нагревателя и уравнения теплопроводности в конструкции, связанных между собой граничными условиями, но не приведен выбор рациональных параметров проектирования трубчатых газовых нагревателей с размещением газоздушных каналов в строительных конструкциях.

Постановка задачи. Ставилась задача создать технические решения, позволяющие использовать трубчатые газовые нагреватели с размещением газоздушных каналов в строительных конструкциях и на основе разработанных математических моделях, для такой работы нагревателей, предоставить выбор рациональных параметров проектирования трубчатых газовых нагревателей.

Общие технические решения. Рассматривается трубчатый линейный нагреватель, с размещением газоздушных каналов в пространстве пола, принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Конструктивное, детальное решение размещения каналов газоздушной смеси в пространстве пола приведено на рис. 2. В качестве строительного материала для конструкции пола выбран бетон, непосредственно в бетоне размещены каналы трубчатого линейного нагревателя в виде стального короба. Между нагревателем и строительной конструкцией имеется теплоизолирующий материал. Над нагревателем предусмотрена верхняя крышка в виде бетонной пластины, которая должна обеспечивать близкую к постоянной величине

температуру наружной поверхности нагревателя.

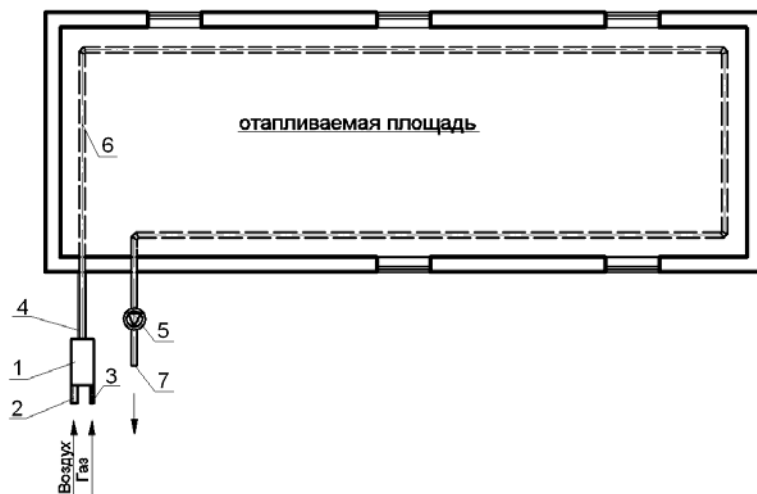


Рис.1. Принципиальная схема трубчатого газового нагревателя, размещенного в полу

1 – газовая горелка; 2 – патрубок подачи воздуха; 3 – патрубок подачи газа; 4 – начальный участок линейного нагревателя в теплоизоляции; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – каналы газозвушной смеси; 7 – патрубок отвода газозвушной смеси.

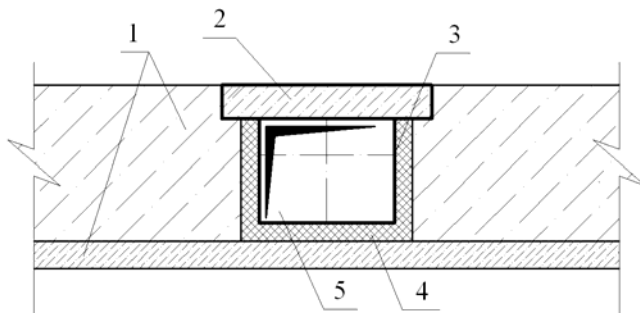


Рис.2. Канал газозвушной смеси размещённый в полу
1 – бетон; 2 – бетонная пластина; 3 – стальной короб; 4 – утеплитель;
5 – канал газозвушной смеси.

Математическое моделирование трубчатого нагревателя.

Рассматривается трубчатый нагреватель начиная от среза горелки до выхода из вытяжного вентилятора. Считается гидравлический и тепловой режим работы нагревателя стационарным и одномерным – параметры течения и теплообмена изменяются только по длине нагревателя. Выделим три участка моделирования нагревателя: первый – это начальный участок, на котором происходит полное сжигание горючего газа; второй – это основной участок нагревателя, где происходит передача тепловой энергии от горячего потока газозвдушной смеси в окружающее пространство; третий участок – это вытяжной вентилятор.

Математическую модель нагревателя можно, следуя [4], представить в виде:

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

$$p = \rho R T \quad (2)$$

$$dp = -\Lambda \cdot dx / D_1 \cdot \rho \frac{w^2}{2} \quad (3)$$

$$dQ_1 = \pi D_1 dx \alpha_1 (T - T_{wi}) \quad (4)$$

$$dQ_2 = \pi D_2 dx \frac{\lambda}{\delta} (T_{wi} - T_{wo}) \quad (5)$$

$$dQ_3 = \pi D_2 dx c_o \varepsilon (T_{wo}^4 - T_o^4) 10^{(-8)} \quad (6)$$

$$dQ_4 = \pi D_2 dx \alpha_2 (T_{wo} - T_o) \quad (7)$$

$$d(\rho w F c_p T) = dQ_1 \quad (8)$$

$$dQ_1 = dQ_2 \quad (9)$$

$$dQ_2 = dQ_3 + dQ_4 \quad (10)$$

$$d(\rho w F c_p T) = dQ_1 + dQ_0 \text{ при } 0 < x \leq L_f \quad (11)$$

$$dQ_0 = Q_0 / S_f 2\pi \cdot y_f(x) dx, \quad 0 < x \leq L_f \quad (12)$$

Где: ρ - плотность газозвдушной смеси; w - средняя линейная скорость движения газа по трубе-излучателю; F - площадь поперечного сечения излучателя; P - абсолютное давление в сечении воздуховода; T - абсолютная температура газа в данном сечении воздуховода; R - газовая постоянная, зависящая от состава газозвдушной смеси после полного сгорания горючего газа; dP - перепад давления при течении газа в воздуховоде-излучателе на участке длиной dx ; Λ - коэффициент трения; D_1 - эквивалентный диаметр канала нагревателя; dQ_1 - тепловой паток от газозвдушной смеси к стенке излучающей трубы, передаваемый конвекцией; α_1 - коэффициент теплоотдачи конвекцией от трубы-излучателя в окружающее пространство при поперечном обмывании излучающей трубы приточным воздухом; T_{wi} - температура внутренней поверхности стенки канала в данном сечении; dQ_2 -

тепловой поток от внутренней поверхности стенки нагревателя к внешней поверхности, передаваемый теплопроводностью; λ , δ , T_{wo} - соответственно коэффициенты теплопроводности материала, толщина и температура внешней поверхности стенки канала; D_2 - ширина пластины канала нагревателя; dQ_3 - тепловой поток излучением от внешней поверхности нагревателя в окружающее пространство отапливаемого помещения; c_0 - коэффициент излучения абсолютно черного тела; ϵ - степень черноты материала внешней поверхности нагревателя; T_0 - абсолютная температура окружающей среды в отапливаемом помещении; dQ_4 - тепловой поток от внешней поверхности стенки нагревателя в окружающую среду отапливаемого помещения, передаваемый конвекцией; c_p - изобарная теплоемкость газоздущной смеси; dQ_0 - тепловой поток, который поступает в газоздущную смесь при сжигании горючего газа; S_f - площадь поверхности факела; r_f - радиус фронта горения; L_f - длина области горения газа.

Постановка задачи выбора оптимальных параметров нагревателя.

Для поиска численных решений использовался алгоритм эволюционно-го поиска [6,7] наиболее предпочтительных решений

$$X_k = S(G(X_{k-1})), k=1, 2, \dots, \tag{13}$$

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 (X) - функция генерации, порожденная отношением генерации R_G ; $S(X)$ - функция выбора, порожденная отношением выбора. Функция выбора обеспечивает выбор решений по минимуму критерия (14).

$$\hat{A} = \sum_{i=1}^n \|T_{woi} - T_{wo\text{cp}}\| \tag{14}$$

Где T_{woi} — температура наружной поверхности пластины на i -ом участке нагревателя; $T_{wo\text{cp}}$ — средняя температура наружной поверхности по всему нагревателю.

На k -ом шаге итерации отбираются N_L лучших решений по критерию (14).

Затем производится оценка лучших решений, отобранных во всех ветвях поиска:

$$x_0^i = (\sum_{j=1}^{N_A} \sum_{l=1}^{N_E} x_{ij}^i) / (N_A \cdot N_E), \tag{15}$$

$$i = 1, 2, \dots, N_L,$$

$$j = 1, 2, \dots, N_B,$$

Где i - порядковый номер переменных; l - номер отобранного решения; j - номер ветви эволюционного процесса; N_L - количество лучших решений, отбираемых на каждом шаге эволюционного поиска в одной ветви; N_B - количество ветвей расчета эволюционного алгоритма.

После этого производится оценка эмпирических дисперсий в виде:

$$\sigma_i^2 = (\sum_{j=1}^{N_A} \sum_{l=1}^{N_E} (x_{ij}^j - x_0^i)^2) / (N_A \cdot N_E - 1) \quad (16)$$

На $(k+1)$ -ом шаге итерации производится генерация новых решений по нормальному закону для каждой переменной x^i с центрами в точках x_{ij}^j , $l=1, N_A$, $j=1, N_E$ и дисперсией σ_i^2 .

Пример численного решения задачи оптимального выбора.

Решалась задача выбора параметров - толщин бетонных пластин для трубчатого нагревателя вида рис. 1, длиной 48 м, условный диаметр — 150 мм, расчетный расход природного газа 7,1 м³/ч, расход воздуха — 500 м³/ч. Выделено 4 расчетных участка, длиной — 8м, 8м, 8м, 24м по пути движения газозвоздушной среды.

На рис. 3 показан итерационный процесс минимизации критерия (14), наглядно видна сходимось эволюционного поиска решений.

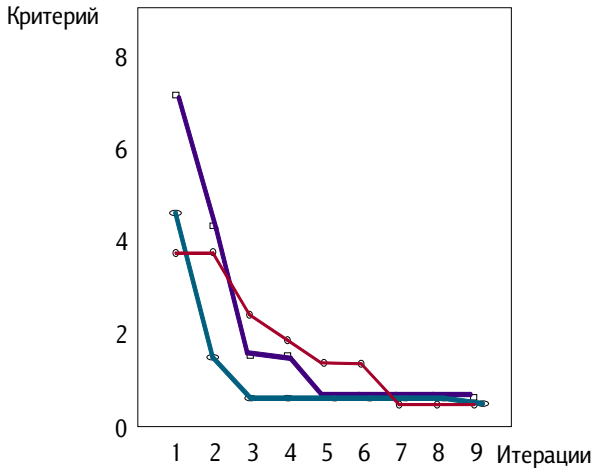


Рис.3. Итерационный процесс эволюционного поиска для трех ветвей эволюции решений

В результате эволюционного случайного поиска были определены следующие оптимальные толщины верхней крышки трубчатого нагревателя (в см): (4,96; 4,46; 3,90; 2,18), которые обеспечивают близкую к постоянной величине температуру наружной поверхности нагревателя.

Обсуждение результатов. Преимуществом разработанного подхода с применением эволюционного алгоритма случайного поиска является определение наиболее предпочтительных решений задачи оптимального выбора параметров трубчатого нагревателя, расположенного в конструкции пола.

Выводы. На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Сформулирована задача выбора оптимальных параметров трубчатого газового нагревателя, расположенного в конструкции пола. В качестве критерия выбора решений использовался критерий равномерности обогрева по длине нагревателя.

2. Для решения задачи оптимального выбора параметров трубчатого нагревателя предложено использовать эволюционный алгоритм случайного поиска наиболее предпочтительных решений. Представленные результаты численного решения показывают обоснованность разработанного подхода.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Патент 63793 Україна (UA), МПК F24D 10/00. Пристрій для газового опалення/ К.В. Дудкін, В.Ф. Іродов, Г.Я. Чорноморець (Україна); заявник ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». –№ 02070772; Заявл. 25.02.2011; Опубл. 25.10.2011. Бюл. № 20. – 4 с.: іл.
2. Дудкин К.В. Многоконтурные трубчатые газовые нагреватели как средства повышения безопасности воздушно-лучистого отопления/ К.В. Дудкин, Ю.В. Хацкевич, Л.В.Солод, Г.Я. Черноморец // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – 2011. – №62. – С. 161–165.
3. Іродов В.Ф. Математическе моделювання і розрахунок інфрачервоного трубчатого газового обогревателя/ В.Ф. Іродов, Л.В. Солод // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – 2010. – №52. – С. 130–132.
4. Редько А.Ф. Пути повышения эффективности применения «темных» инфракрасных излучателей/ А.Ф. Редько, Н.Н. Болотских // Наук. вісн. буд-ва: Зб. наук. праць – Харків, 2008. – №49. – С. 172–179.
5. Чорноморець Г.Я. Математичне моделювання трубчастих газових нагрівачів, розташованих у будівельних конструкціях/ Г.Я. Чорноморець, В.Ф. Іродов // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. – Харків, 2012. – №68. – С. 395–399.
6. Стратан Ф.И. Эволюционные алгоритмы поиска оптимальных решений/ Ф.И. Стратан, В.Ф. Іродов // Методы оптимизации при проектировании систем теплогоснабжения. – Кишинев, 1984. – С. 16–30.
7. Іродов В.Ф. О построении и сходимости алгоритмов самоорганизации случайного поиска / В.Ф. Іродов // Автоматика. – 1987. - №4. – С. 34-43.