

УДК 697.7

ТРУБЧАТЫЕ ГАЗОВЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ПЕЛЛЕТАХ

к.т.н., доц. Дудкин К.В., инж. Ткачева В.В., инж. Чернойван А.А.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Постановка проблемы. Трубчатые газовые нагреватели достаточно широко используются для децентрализованного теплоснабжения благодаря низким капитальным затратам, малой инерционности в работе, что обеспечивает значительную экономию энергетических ресурсов по сравнению с водяными системами теплоснабжения. Эти нагреватели используют, как правило, углеводородные газы – природный или сжиженный газ, что является существенным недостатком в условиях постоянного удорожания традиционных энергетических ресурсов. Представляется весьма перспективным использование в качестве топлива для теплоснабжения возобновляемые ресурсы биомассы. Статья посвящена новым техническим решениям, позволяющим использовать топливные гранулы (пеллеты) в качестве топлива для трубчатых газовых нагревателей.

Анализ последних исследований. Инфракрасный трубчатый газовый обогреватель (ИТГО) [1] представляет собой газовую горелку расположенную внутри радиационной трубы, которая нагревается продуктами сгорания газа и излучает тепло в окружающее пространство. Развитие термина ИТГО получило в стандарте ТУ У 29.2-13440098-002:2007 «Нагреватели газовые трубчатые «Селект», в соответствии с которым под нагревателем понимается труба-теплообменник, которая изнутри нагревается продуктами сгорания газа, а снаружи может быть окружающее пространство (воздушно-лучистый нагреватель), нагреваемая воздушная среда (воздушно-воздушный нагреватель) или нагреваемая водяная среда (воздушно-водяной нагреватель). Для трубчатых газовых нагревателей разработаны новые технические решения: использование газового эжектора совместно с приточным вентилятором для циркуляции газозвушной смеси [2] и использование емкости со свободной поверхностью для нагрева воды [3]. Математическое моделирование инфракрасного трубчатого нагревателя изложено в [4], а математическое моделирование трубчатого газового нагревателя для нагрева жидкости со свободной поверхностью изложено в [5]. Математическое моделирование многоконтурных трубчатых газовых нагревателей изложено в [6]. В технических условиях ТУ У 29.2-13440098-002:2007 «Нагреватели газовые трубчатые «Селект» допускается в качестве горючего газа использовать природный, сжиженный газ, а также искусственные газы, например, газы термической переработки твердого топлива (газы безостаточной газификации). Таким образом, имеются все предпосылки для создания трубчатых газовых нагревателей широкого назначения, работающих на топливных гранулах (пеллетах).

Постановка задачи. Ставилась задача создать технические решения, позволяющие использовать пеллеты в качестве топлива для трубчатых газовых нагревателей и разработать необходимое математическое и методическое обеспечение для такой работы нагревателей.

Общие технические решения. Общие технические решения, позволяющие использовать pellets в качестве топлива для трубчатых газовых нагревателей, основываются на простой линейной схеме «pelletная горелка + трубчатый нагреватель + вытяжной вентилятор», показанной на рис.1. При этом в pelletной горелке под действием температуры и при недостатке кислорода происходит безостаточная газификация твердого топлива с образованием смеси горючих газов и продуктов сгорания pellets. Эта горючая смесь поступает в виде центральной струи в спутный поток воздуха, где воспламеняется, образуя растянутый внутри трубчатого нагревателя факел, а после остывания газозвушной смеси в трубчатом нагревателе отработанная смесь с продуктами сгорания удаляется наружу.

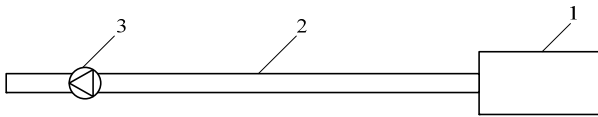


Рис.1. Общая схема трубчатого газового нагревателя на pellets
1 – pelletная горелка; 2 – трубчатый нагреватель; 3 – вытяжной вентилятор

Математическое моделирование трубчатого нагревателя на pellets. Будем здесь рассматривать трубчатый нагреватель на pellets, начиная от среза pelletной горелки до выхода из вытяжного вентилятора. Считаем 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 безостаточной газификации в виде газового факела; второй – это основной участок нагревателя, где происходит передача тепловой энергии от горячего потока газозвушной смеси в окружающее пространство; третий участок – это вытяжной вентилятор.

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

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

$$p = \rho RT \quad (2)$$

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

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

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

$$dQ_3 = \pi D dx C_0 e((T_{wo}^4 - T_o^4)10^{(-8)}) \quad (6)$$

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

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

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

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

В уравнениях (1)-(10) приняты обозначения: W – скорость; p – давление; ρ – плотность; T – температура газовой смеси; T_{wi} – температура внутренней стенки трубы; T_{wo} – температура наружной стенки трубы; x – линейная координата; dQ_1 – тепловой поток, передаваемый от газовой смеси к трубе; dQ_2 – тепловой поток, передаваемый теплопроводностью через стенку трубы; dQ_3 – тепловой поток, передаваемый излучением от стенки трубы в окружающее пространство, dQ_4 – тепловой поток, передаваемый конвекцией от стенки трубы в окружающее пространство, α_1 – коэффициент теплоотдачи от газовой смеси к трубе, α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки трубы в окружающее пространство.

На начальном участке ИТГО (от среза сопла газовой горелки до завершения процесса горения газового факела внутри трубы) математическая модель может быть представлена в виде дополнительных уравнений

$$L_f / d_g = \psi(\beta, \chi), \quad (11)$$

где Ψ – известная функция, d_g – диаметр газового сопла; χ – совокупность эмпирических констант; β – стехиометрический комплекс:

$$\beta = \Omega \cdot c_a / c_b \sqrt{\omega_1} (\omega_{11} + 1) / 2 / \omega_{11}, \quad (12)$$

где Ω – стехиометрическое число; $\omega_1 = T_f / T_g$, $\omega_{11} = T_f / T_a$,

T_f – теоретическая температура горения, T_g – начальная температура горючего газа, T_a – начальная температура воздуха.

Величину теплового потока dQ_0 , который поступает в газоздушную смесь от сгорания горючего газа на расстоянии x от среза газового сопла в пределах длины газового факела можно считать

$$dQ_0 / dx = Q_0 / S_f 2\pi \cdot y_f(x), \text{ при } 0 < x \leq L_f \quad (13)$$

Математическая модель воздуховода-излучателя на начальном участке представляет собой совокупность уравнений (1)-(10) с одним изменением – в уравнение сохранения энергии (8) нужно добавить тепловой поток dQ_0 , так что, уравнение примет вид:

$$d(\rho \times w \times F \times C_p \times T) = dQ_1 + dQ_0, \text{ при } 0 < x \leq L_f \quad (14)$$

Экспериментальное исследование трубчатого нагревателя на пеллетах. Разработанная конструкция трубчатого газового нагревателя на пеллетах испытывалась в лабораторных условиях и на реальном объекте. В качестве реального объекта применения выбрана система теплоснабжения теплицы в Днепропетровском районе. План теплицы с запроектированным трубчатым П-образным нагревателем показан на рис.2. Размеры теплицы 21м на 7м, наружное покрытие из поликарбоната. Для теплоснабжения теплицы предусмотрена топочная, примыкающая к теплице, где расположена пеллетная горелка с оперативным бункером для пеллет и автоматической системой подачи пеллет в пеллетную горелку. Тепловая мощность системы теплоснабжения регулируется от датчика температуры внутри теплицы путем изменения количества подаваемых на горелку пеллет и изменяется в пределах от 10 до 40 кВт.

При экспериментальном исследовании определялись следующие параметры: тепловая мощность горелки, расход газоздушной смеси, температуры на наружной поверхности нагревателя. Для рассматриваемого теплового режима $Q_0 = 20,4$ кВт, $V_{\text{mix}} = 320$ м³/ч, диаметр нагревателя $D_y = 150$ мм, толщина стальной стенки трубы – 3 мм на длине 18м и 0,55 мм на остальной длине. На рис.3 приведен график изменения температуры наружной поверхности нагревателя по его длине, где приведены расчетные и экспериментальные значения.

Как видно из рис.3, наблюдается удовлетворительное сопоставление результатов расчета с экспериментальными результатами. Для рассматриваемого теплового режима рассчитанный коэффициент полезного действия трубчатого нагревателя на пеллетах составляет 90,85%, что следует считать приемлемым для невысоких температур поверхностей нагрева, которые необходимы при отоплении теплицы.

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная конструкция трубчатого нагревателя на пеллетах апробирована на практике для теплоснабжения теплицы.
2. Расчеты теплового и гидравлического режима трубчатого нагревателя на пеллетах можно проводить как расчеты трубчатого газового нагревателя. Обеспечивается удовлетворительное совпадение результатов расчетов с экс-

периментальными результатами.

3. Несмотря на невысокие температуры греющих поверхностей нагревателя (до 140 °С), которые необходимы для отопления теплиц, отмечается возможность достижения приемлемых значений коэффициента полезного действия систем отопления теплиц с трубчатыми нагревателями на пеллетах.

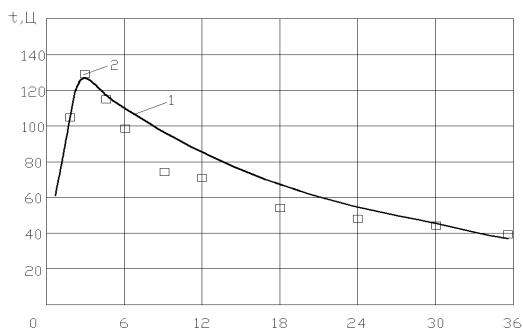


Рис. 3. Изменение температуры наружной поверхности нагревателя на пеллетах
1 – расчет; 2 – эксперимент

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ДБН. В 2.5 – 20 – 2001. Газопостачання.– К.: Держбуд України, 2001.–286 с.
2. Патент України № 63793, F24D 10/00. Пристрій для газового опалення / К.В. Дудкін, В.Ф. Іродов, Г.Я. Чорноморець; Дата подання 25.02.2011; Дата ріш. 25.10.2011, бюл. № 20.
3. Патент № 63797 Україна (UA), МПК F24C 15/32. Трубочастий нагрівач / К.В. Дудкін, В.Ф. Іродов, Ю.В. Бобир (Україна); заявник ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – № 02070772; Заявл. 25.02.2011; Опубл. 25.10.2011, бюл. № 20.
4. Вячеслав Іродов. Расчет температурных удлинений инфракрасного трубчатого газового обогревателя / Валерия Ткачева, Леонтина Солод // Сб. трудов «Теоретические основы строительства», №19 - Днепропетровск, 2011. - С. 381-386.
5. Дудкин К.В. Многоконтурные трубчатые газовые нагреватели как средства повышения безопасности воздушно – лучистого отопления / Ю.В.Хацкевич, Л.В. Солод, Г.Я. Черноморец // Сб. научн. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение», Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2011. – С.161-165.
6. Дудкин К.В. Математическое моделирование трубчатых газовых нагревателей для безопасного нагрева воды в объеме со свободной поверхностью / В.В.Ткачева, Ю.В. Бобырь // Сб. научн. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение», Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2011. – С.16-30.