

РАСЧЕТ РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО ГАЗОВОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПОВЫШЕННОГО ЛУЧЕИСПУСКАНИЯ С КОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ПОТОКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

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

Ключевые слова: *техническое решение, повышенное лучеиспускание, концентрированный тепловой поток, трубчатый газовый нагреватель, математическая модель, лучистый КПД*

Введение. При решении многих задач тепловой энергетики необходимо максимально использовать лучистую тепловую энергию от газовых инфракрасных нагревателей, в то время имеет место значительная потеря полезной теплоты за счет большой доли конвективной составляющей процесса теплообмена. Например, при лучистом отоплении нагретый воздух, который выпускается в отапливаемое помещение, собирается в верхней зоне помещения и неэффективно используется в процессе обогрева.

Анализ публикаций. Известно устройство для лучистого отопления [4], содержащее газовую горелку, трубчатый линейный нагреватель и расположенный над ним отражатель теплового излучения с поверхностной теплоизоляцией, выполненный в виде многослойного зонта, с выпуском горячего воздуха в отапливаемое помещение, а также вытяжной вентилятор. При применении данного устройства значительная часть теплоты тратится на конвективный нагрев воздуха, в то время как во многих случаях важно получать именно лучистую тепловую энергию.

Известно техническое решение лучистого нагревателя повышенного лучеиспускания [3], который содержит газовую горелку, трубчатый линейный нагреватель, расположенный над ним отражатель теплового излучения, вытяжной вентилятор и патрубок забора свежего воздуха, дополнительный отражатель для образования воздуховода и патрубок для подачи нагретого воздуха в газовую горелку, соединенным с патрубком забора свежего воздуха. Данное техническое решение позволяет повысить лучистую составляющую в тепловом потоке от нагревателя за счет использования для горения конвективно нагретого от излучателя. Математическая модель газового лучистого нагревателя повышенного лучеиспускания представлена в [1, 2]. Однако данное техническое решение, хоть и повышает лучистую составляющую теплового потока, но не может обеспечить концентрирование потока излучения на поверхность небольшой заданной площади, тогда как при решении многих инженерных задач это необходимо.

Цель статьи. Целью является разработка технического решения трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, его математической модели и расчет параметров его работы.

Авторами предлагается техническое решение трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, который как и [1] в своей конструкции имеет газовую горелку, трубчатый нагреватель, отражатель теплового излучения, вытяжной вентилятор. Отличиями от ранее известного технического решения являются:

- трубчатый нагреватель выполнен нелинейного типа, что позволяет концентрировать и направлять тепловой поток излучения на поверхность небольшой площади (рис.1, 2);
- для увеличения общей тепловой мощности концентрированного потока излучения можно объединять несколько нагревателей повышенного лучеиспускания под один отражатель (рис. 1; 2).
- отражатель теплового излучения имеется только основной, тогда как в [3] существует дополнительный отражатель для образования воздуховода;
- воздуховод для забора нагретого воздуха выполнен таким образом, что позволяет отбирать воздух непосредственно из-под отражателя и максимально направлять его на горение в необходимом объеме (рис.3).
- газогорелочный блок состоит из двух смежных частей - в одной из них располагается непосредственно газовая горелка, в другом, отделенном изолированной перегородкой, размещается блок автоматики безопасности.

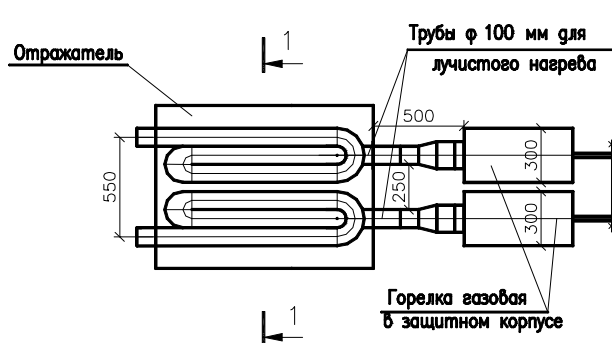


Рис.1. Газовый лучистый нагреватель повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Вид сверху.

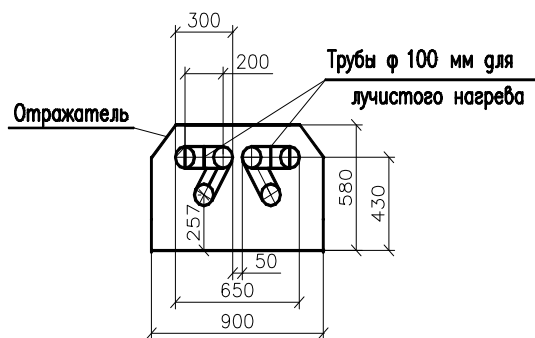


Рис.2. Газовый лучистый нагреватель повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком. Разрез 1-1.

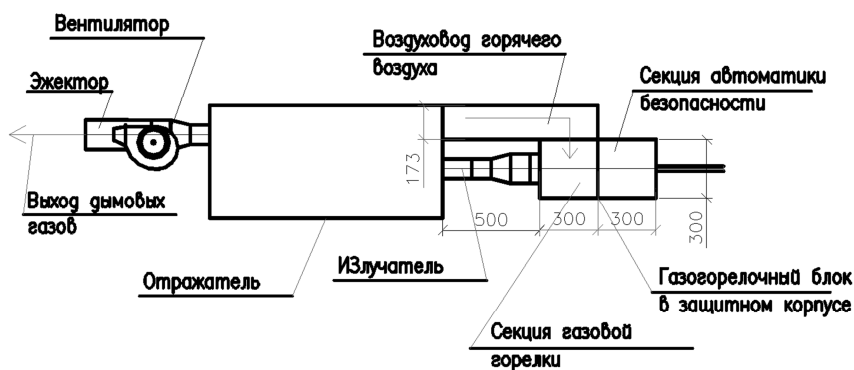


Рис.3. Газовый лучистый нагреватель повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Вид сбоку.

Движение продуктов сгорания может осуществляться через эжектор с применением приточного вентилятора. Тогда для каждого из нагревателей повышенного лучеиспускания, объединенных под общий отражатель, применяется индивидуальный вентилятор, эжектор, газогорелочный блок, набор нелинейных излучателей.

Математическая модель теплового и гидравлического режимов газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Математическая модель основного участка основывается на следующих уравнениях:

- 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 газо-воздушной смеси в данном сечении воздуховода; R – газовая постоянная, зависящая от состава газо-воздушной смеси после полного сгорания горючего газа.

- уравнение движения газо-воздушной смеси внутри трубы-излучателя:

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

где dP – перепад давления при течении газа в воздуховоде-излучателе на участке длиной dl , λ – коэффициент трения, d – внутренний диаметр излучателя

Далее составим уравнение теплового баланса для элементарного участка трубы-излучателя длиной dl :

$$dQ_{\text{вн}} = V_{\text{ср}} dT = dQ_1^K + dQ_1^{\text{л}} = dQ_2 = dQ_3 + dQ_4, \quad (4)$$

где $dQ_{\text{вн}}$ – теплота, выделяющаяся при горении топлива; c_p – изобарная теплоемкость газовой смеси; dQ_1^K – тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя,

передаваемый в процессе конвективного теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной dl ; $dQ1^{\text{л}}$ – тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя, передаваемый в процессе лучистого теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной dl ; $dQ2$ – тепловой поток от внутренней поверхности стенки трубы-излучателя к наружной поверхности, передаваемый теплопроводностью на участке dl ; $dQ3$ – тепловой поток излучением от поверхности излучателя в окружающую среду помещения на участке dl ; $dQ4$ – тепловой поток от наружной стенки излучателя в окружающее пространство помещения, передаваемый конвекцией на участке dl .

При отсутствии теплопоступлений в трубу-излучатель уравнение (4) запишется в виде:

$$di = c_p dT = -dQ2, \quad (5)$$

где di – изменение энтальпии газовой смеси.

С учетом теплоты горения факела изменение энтальпии смеси:

$$di = c_p dT = -dQ2 + dQf, \quad (6)$$

где dQf – тепловой поток, выделяющийся при горении факела.

Определяющими для данной математической модели являются начальные условия, которые учитывают параметры воздуха, поступающего на горение, и в начальной точке длины трубы $l = 0$ записываются в виде:

$$i(l=0) = c_{p1} \cdot t_B + c_{p2} \cdot t_G \quad (7)$$

$$(V_B + V_G) i(l=0) = c_{p1} \cdot t_B \cdot V_B + c_{p2} \cdot t_G \cdot V_G \quad (8)$$

где i – энтальпия газо-воздушной смеси в начальной точке трубы-излучателя; c_{p1} и c_{p2} – соответственно средние объемные изобарные теплоемкости воздуха, идущего на горение, и газа; t_B и t_G – соответственно температуры воздуха и газа. V_B , V_G – соответственно объемные расходы воздуха и газа.

Имеем:

- тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя, передаваемый в процессе конвективного теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной dl :

$$dQ1^K = \alpha_1 \cdot (T - T_S) \cdot F \cdot dl, \quad (9)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от газо-воздушной смеси к внутренней стенке трубы-излучателя; T и T_S – соответственно температуры газо-воздушной смеси и внутренней стенки трубы-излучателя; F – длина окружности в сечении трубы-излучателя.

- $dQ1^{\text{л}}$ – тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя, передаваемый в процессе лучистого теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной dl :

$$dQ1^{\text{л}} = \varepsilon_{\Gamma} \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T^4}{100} \right) \cdot F \cdot dl, \quad (10)$$

где ε_{Γ} – степень черноты газового слоя, зависящая от температуры, давления и толщины слоя газа, которая определяется как сумма степеней черноты воздуха и газа; $c_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

- $dQ3$ – тепловой поток излучением от поверхности излучателя в окружающую среду помещения на участке dl :

$$dQ3 = \varepsilon_{\Gamma} \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{OS}}{100} \right)^4 \right], \quad (11)$$

где T_{OS} – температура окружающей среды.

$$dQ4 = \alpha_2 \cdot (T_S - T_{OS}), \quad (12)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной стенки трубы-излучателя в окружающую среду.

При интегрировании уравнений (1, 2, 3) необходимо знать dT , которое определяется с учетом уравнений (9) и (12), в которых неизвестной величиной является T_S . Величину T_S можно определить из уравнения теплового баланса (4).

При выполнении расчетов количество нагретого воздуха, поступающего на горение, было принято известной величиной $g = 80 \text{ м}^3/\text{час}$, что соответствует коэффициенту избытка воздуха

$\alpha \approx 2$.

Результаты и их обсуждение.

Результаты расчета графически представлены на рис. 5, 6, 7.

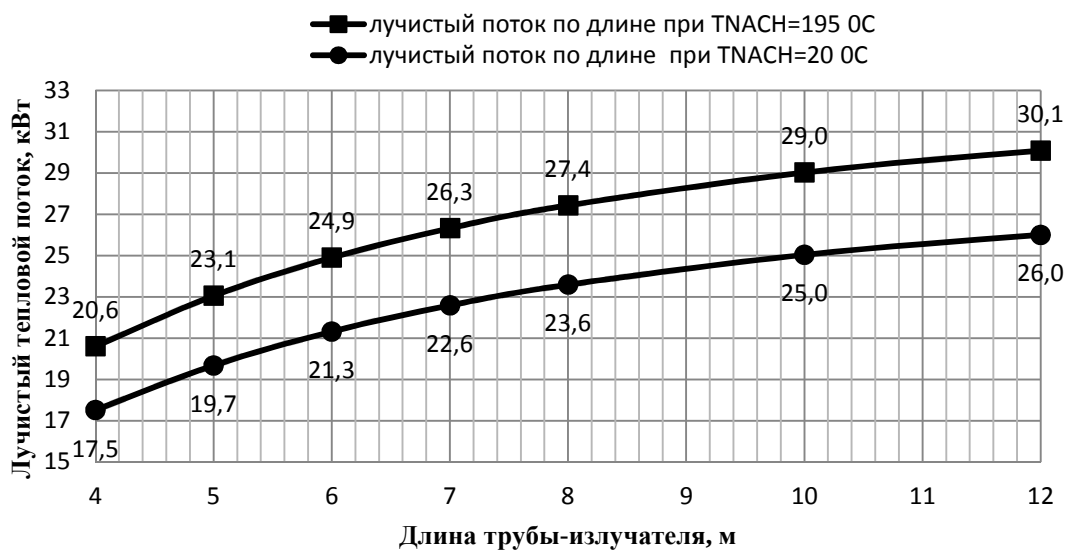


Рис.5. Зависимость величины лучистого потока от длины трубы-излучателя.

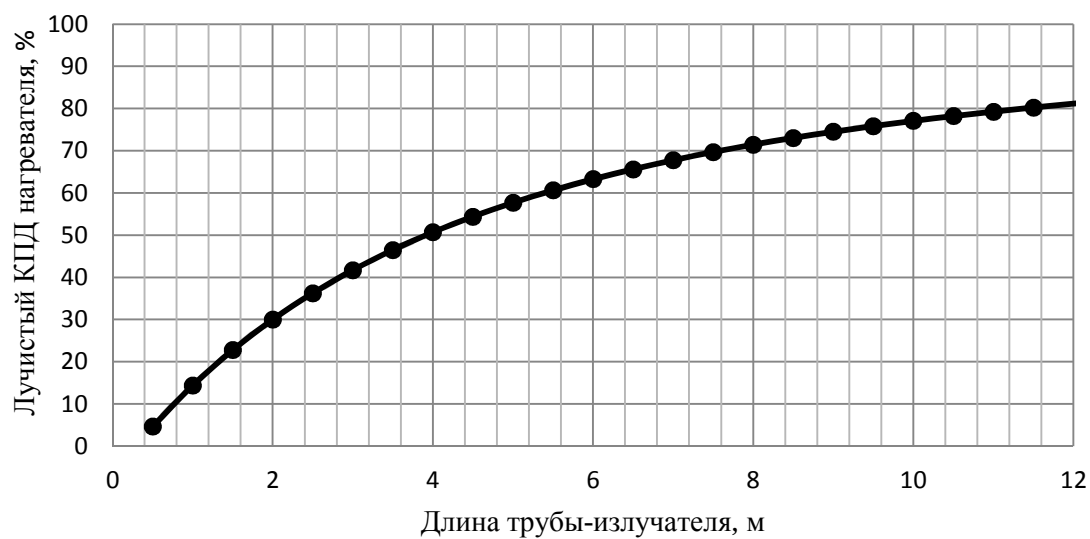


Рис.7. Зависимость температуры конвективно нагретого воздуха от длины излучателя.

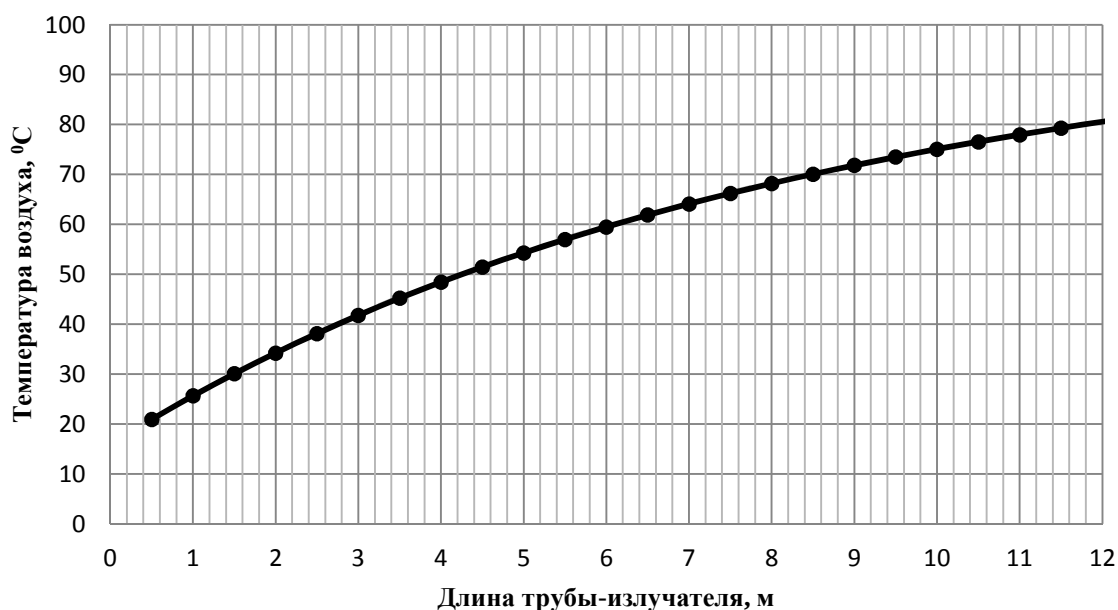


Рис.7. Зависимость лучистого КПД длины излучателя.

Результаты расчета подтверждают эффективность использования конвективно нагретого от излучателя воздуха на горение.

При подаче на горение нагретого до температуры 195 °C воздуха при длине излучателя 12 м лучистый тепловой поток увеличивается на 4,1 кВт и составит 30,1 кВт (рис. 5).

Были определены температуры, которые будет иметь воздух, нагретый от трубы-излучателя при определенной его длине. Согласно расчетам температура нагретого воздуха, поступающего на горение не превышает 100 °C и при длине излучателя 12 м составляет 81 °C. Значения температур нагретого воздуха при других длинах излучателя можно определить по рис. 6.

Расчетом определен КПД нагревателя по степени теплового излучения (лучистый КПД). Результаты расчета подтверждают повышение излучательной способности нагревателя за счет использования конвективно нагретого воздуха на горение. Лучистый коэффициент полезного действия нагревателя с концентрированным потоком излучения при длине 12 м составляет свыше 80 % (рис.7.).

Выводы.

1. Предложено техническое решение трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, конструкция которого позволяет использовать на горение конвективно нагретый от излучателя воздух.
2. Разработана математическая модель теплового и гидравлического режимов газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, основанная на основных уравнениях теплового баланса, уравнениях сохранения массы, движения и состояния газо-воздушной смеси, с учетом параметров воздуха, поступающего на горение.
3. Выполнен расчет параметров работы трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Были определены температуры, которые будет иметь воздух, нагретый от трубы-излучателя при определенной его длине. Расчетом определен КПД нагревателя по степени теплового излучения (лучистый КПД). Результаты расчета подтверждают повышение излучательной способности нагревателя за счет использования конвективно нагретого воздуха на горение. Лучистый коэффициент полезного действия нагревателя с концентрированным потоком излучения при общей длине излучателя 12 м составляет свыше 80 %.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. **Иродов В. Ф.** Моделирование трубчатого нагревателя повышенного лучеиспускания как гидравлической цепи с переменными и регулируемыми параметрами / В. Ф. Иродов, Д. Е. Осетянская // Системный анализ и информационные технологии: Материалы Международной научно-технической конференции SAIT 2011, К., 23-28 мая 2011 г. / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ». – К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2011. 548 с. – С. 16 – 30
2. **Иродов В. Ф.** Повышение эффективности трубчатых газовых нагревателей для лучистого отопления / В. Ф. Иродов, Д. Е. Осетянская // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научных трудов. Вып. 59, ГВУЗ «ПГАСА» – Д., 2011. – С. 77 - 82.
3. Пат. 59891 України, МПК (2011.01), F24D 15/00, F24C 15/00. Променевий нагрівач / Іродов В. Ф., Осетянська Д. Є., Хацкевич Ю. В.; власник Державний ВНЗ «ПДАБА». — № u201010626; заявл. 02. 09. 10; опубл. 10. 06. 11, Бюл. № 11.
4. Пат. 87028 України, МПК (2006), F24D 10/00, F24D 15/00, F24C 15/00. Пристрій для променевого опалювання / Редько А. О., Болотських М. М.; власник Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури — № a200709448; заявл. 20. 08. 2007; опубл. 10. 06. 2009, бюл. № 11.

УДК 697.7

Расчет работы трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения / Д. Е. Осетянская, В. Ф. Иродов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д.: ПГАСА, 2012. – № . – С. . – рис. 7.– Библиогр.: (4 назв.).

Предложено техническое решение трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, конструкция которого позволяет использовать на горение конвективно нагретый от излучателя воздух. Разработана математическая модель теплового и гидравлического режимов газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Выполнен расчет параметров работы нагревателя, определены температуры, которые будет иметь воздух, нагретый от трубы-излучателя, определен КПД нагревателя. Результаты расчета подтверждают повышение излучательной способности нагревателя за счет использования конвективно нагретого воздуха на горение.

Ключевые слова: *техническое решение, повышенное лучеиспускание, концентрированный тепловой поток, трубчатый газовый нагреватель, математическая модель, лучистый КПД.*

Розрахунок роботи трубчастого газового нагрівача з підвищеною променевою складовою з концентрованим потоком випромінювання / Д. Є. Осетянська, В. Ф. Іродов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д.: ПДАБА, 2012. – № . – С.— рис. 7. – Бібліогр.: (4 назв).

Запропоновано технічне рішення трубчастого газового нагрівача з підвищеною променевою складовою з концентрованим потоком випромінювання, конструкція якого дозволяє використовувати на горіння конвективно нагріте від випромінювача повітря. Розроблено математичну модель теплового та гідравлічного режимів газового нагрівача з підвищеною променевою складовою з концентрованим потоком випромінювання. Виконано розрахунок параметрів роботи нагрівача, визначені температури, які буде мати повітря, нагріте від труби-випромінювача, визначений ККД нагрівача. Результати розрахунку підтверджують підвищення випромінювальної здатності нагрівача за рахунок використання конвективно нагрітого повітря на горіння.

Ключові слова: *технічне рішення, підвищене випромінювання, концентрований тепловий потік, трубчастий газовий нагрівач, математична модель, променистий ККД.*

Calculation of the tubular gas heater high light emission with a concentrated stream of light / D. E. Osetjanskaja, V. F. Irodov // Visnyk of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D.: PSACEA, 2012. – № . – P. — fig. 7. – Bibliogr.: (4 names).

Proposed solution tubular gas heater high light emission with a concentrated stream of light, whose design allows the use of convection on the combustion of the heated air from the radiator. A mathematical model of thermal and hydraulic regimes of light emission of high gas heater with a concentrated stream of light. The calculation of parameters of the heater, the temperatures, which will have air heated by the pipe-radiator, heater efficiency is defined. The calculation results confirm the increase of the emissivity of the heater by using convection of heated air for combustion.

Keywords: *technical solutions, high radiation, concentrated heat flux tube gas heater, a mathematical model, the radiative efficiency.*